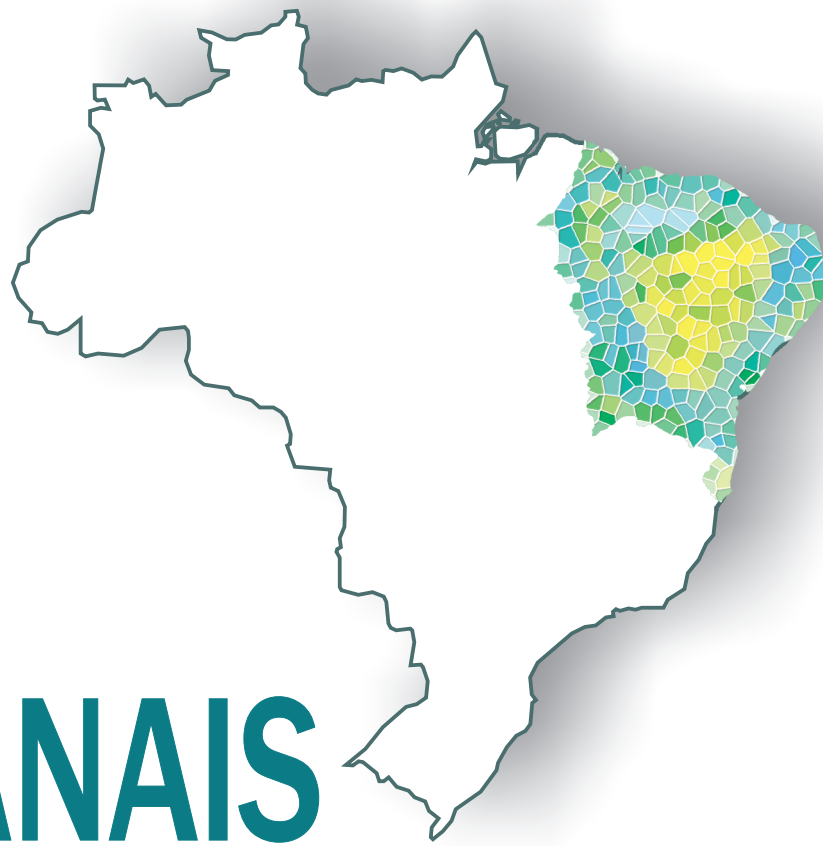


S R O N E



ANAIS



IX Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste

10 a 13 de abril / 2016
João Pessoa - PB

Realização

CETEM
CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Ministério da
Ciência, Tecnologia
e Inovação

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA



Universidade Federal
de Campina Grande



UNIVERSIDADE
FEDERAL
DE PERNAMBUCO

Organizadores:

Francisco Wilson Hollanda Vidal

Nuria Fernández Castro

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL - CETEM/MCTI



PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

DILMA VANA ROUSSEF
Presidente

MICHEL MIGUEL ELIAS TEMER LULIA
Vice-Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

CELSO PANSERA
Ministro da Ciência Tecnologia e Inovação

MARIA EMÍLIA RIBEIRO CURI
Secretária Executiva

KAYO JÚLIO CESAR PEREIRA
Subsecretário de Coordenação das Unidades de Pesquisa

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

FERNANDO ANTONIO FREITAS LINS
Diretor

FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL
Coordenador de Apoio Tecnológico as Micro e Pequenas Empresas

ARNALDO ALCOVER NETO
Coordenador de Análises Químicas

CLAUDIO LUIZ SCHNEIDER
Coordenador de Processos Minerais

DURVAL COSTA REIS
Coordenador de Administração

RONALDO LUIZ CORREA DOS SANTOS
Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais

COSME ANTÔNIO DE MORAES REGLY
Coordenador de Planejamento, Gestão e Inovação



ANAIS

**IX Simpósio de Rochas
Ornamentais do Nordeste**

10 a 13 de abril / 2016

João Pessoa - PB

ORGANIZAÇÃO:

FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL

NURIA FERNÁNDEZ CASTRO

**CETEM/MCTI
RIO DE JANEIRO/2016**

ANAIS
IX SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE

ORGANIZADORES DOS ANAIS

FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL
NURIA FERNÁNDEZ CASTRO

COMISSÃO TÉCNICA

Adão Benvindo da Luz
Andrea Camardella de Lima Rizzo
Antonio Augusto Pereira Sousa
Antônio Pedro Ferreira Sousa
Antonio Rodrigues de Campos
Carlos César Peiter
Elzivir Azevedo Guerra
Fabrício Fernandes Vieira
Francisco Wilson Hollanda Vidal
Gilberto Freire Rangel
Hieres Vettorazzi da Silva
Hudson Jean Bianchini Couto
José de Araújo Nogueira Neto
José Cesar de Albuquerque Costa
Julio Cesar de Souza

Julio César Guedes Correia
Lauro César Montefalco de Lira Santos
Leonardo Cattabriga Freire
Leonardo Luiz Lyrio da Silveira
Letícia Valdo
Maria Angélica Batista Lima
Maria Heloisa Barros de Oliveira Frascá
Nuria Fernández Castro
Paulo Fernando Almeida Braga
Renan Guimarães de Azevedo
Risale Neves Almeida
Roberto Carlos da Conceição Ribeiro
Thalissa Pizeta Altoé
Thiago Motta Bolonini
Vanildo Almeida Mendes

ORGANIZAÇÃO DO EVENTO

Francisco Wilson Hollanda Vidal • Elbert Valdiviezo Viera • Renan Guimarães de Azevedo
Carlos Magno Muniz e Silva • Marcelo Sampaio Falcão • Marcos Farias Magalhães • Nuria Fernández Castro

Ícone, viagens e eventos • DW Eventos & Receptivos

**O conteúdo deste trabalho é de responsabilidade
exclusiva do(s) autor(es)**

VERA LÚCIA DO ESPÍRITO SANTO SOUZA/ NURIA FERNÁNDEZ CASTRO
Projeto Gráfico/Editoração Eletrônica

Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste (9: 2016: João Pessoa-PB)

Anais do IX Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, abril 2016
/Org. Francisco Wilson Hollanda Vidal, Nuria Fernández Castro – João Pessoa
(PB): CETEM/MCTI, 2016.

686p.: il.

1. Rochas ornamentais. 2. Rochas e minerais industriais. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Vidal, Francisco W. Hollanda (Org). III. Castro, Nuria Fernández (Org.).

ISBN 978-85-8261-051-0

CDD 553.5

APRESENTAÇÃO

Quatro anos passaram-se desde a última edição do Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, realizada em Campina Grande-PB, entre 6 e 9 de novembro de 2012, juntamente com o IV Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais e organizada pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, pela Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, pelo Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/MCTI, pelo SEBRAE/PB e pelo Governo do Estado da Paraíba. Nesta ocasião, o **IX Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste (IX SRONE)**, o IV Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste (IV SMI), e a I Exposição de Rochas Ornamentais e Minerais Industriais do Norte e Nordeste foram realizados, de 10 a 13 de abril de 2016, em João Pessoa, capital do Estado da Paraíba, e a organização desses eventos esteve sob responsabilidade do CETEM/MCTI, da UFCG, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE e da Secretaria de Estado da Infraestrutura, dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia por meio da Diretoria de Recursos Minerais e Hidrogeologia, órgãos ligados ao Governo da Paraíba. O IX SRONE, o IV SIMIN e a ExpoROMINN integraram as atividades comemorativas dos 38 anos do CETEM e dos 40 anos de criação do Curso de Engenharia de Minas da UFCG.

Estes anais registram as contribuições técnicas apresentadas no IX Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, tanto dos trabalhos expostos oralmente e plenamente debatidos, quanto dos expostos em forma de pôster. O evento contou, ainda, com a apresentação de palestras de profissionais renomados da área como Reinaldo Dantas Sampaio e Cid Chiodi Filho (ABIROCHAS), Antonio Luis Aulicino (Universidade de São Paulo - USP), Vera Pires (Instituto Superior Técnico, Portugal), o Engenheiro Roberto Bruno (Universidade de Bologna, Itália) e o Arquiteto Renato José Ávilla Paldês. Paralelamente ao simpósio foi oferecido um minicurso de atualização profissional, por iniciativa institucional do CETEM, no qual as especialistas Risale Neves, Maria Heloísa B. O. Frascá e Vera Pires trataram, respectivamente, dos seguintes temas: “Usos de rochas na Arquitetura e Urbanismo”, “Variedades, seleção e orientações para a conservação das rochas ornamentais” e “Projeto, colocação e manutenção de fachadas em Pedra Natural na Arquitetura Contemporânea”. A presença de mais de 300 profissionais durante os quatro dias dos eventos enriqueceu a discussão e apresentou alternativas para o desenvolvimento sustentável da produção de rochas ornamentais e dos minerais industriais no País. A realização conjunta dos eventos de rochas ornamentais e minerais industriais, foi considerada um sucesso que poderá ser continuado no futuro e a cidade de Fortaleza é a mais cotada para receber a próxima edição dos dois eventos em 2018.

Os nossos sinceros agradecimentos para as Instituições organizadoras do evento e aos seus representantes assim como às instituições que outorgaram apoio ao evento como o Ministério de Ciência Tecnologia e Inovação - MCTI, o Ministério das Minas e Energia – MME, a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – ABIROCHAS, e a todas as demais empresas, órgãos e instituições públicas que nos concederam algum tipo de apoio ou patrocínio para a realização do Congresso. Gostaríamos de registrar também nosso agradecimento a toda a equipe de pesquisadores e pessoal de apoio do CETEM presente no evento, à Ritha da Ícone, Eventos e Viagens, ao Henrique da DW Eventos e aos amigos e colaboradores Renan Guimarães de Azevedo, Fabrício Fernandes Vieira e José César de Albuquerque Costa, sem cuja inestimável colaboração antes e durante a realização dos eventos, não teria sido possível alcançar tanto sucesso.

João Pessoa, abril de 2016.

Francisco Wilson Hollanda Vidal
Presidente da Comissão Organizadora do IX SRONE e IV SIMIM

SUMÁRIO

APRESENTAÇÕES ORAIS

PATRIMÔNIO GEOLÓGICO CONSTRUÍDO DO BRASIL: MATERIAIS PÉTREOS E EXTENSÃO DA DETERIORAÇÃO - ANTÔNIO GILBERTO COSTA	1
ALTERABILIDADE ACELERADA POR IMERSÃO DO SIENITO MARROM IMPERIAL: CASO DOS FÁCIES EXPORTAÇÃO E AURÉOLA ROSA - WAGNER J. M. RIBEIRO, FELISBELA M. DA COSTA OLIVEIRA, SANDRA B. BARRETO, THAÍSE M. F. KÁLIX	12
ESTUDO COMPARATIVO DE RESINAS PARA POLIMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS POR MODELAGEM MOLECULAR - FERNANDA B. DA SILVA, JULIO C.G. CORREIA, KELLY F. PESSÔA, LETÍCIA M. PRATES	22
ANÁLISE COLORIMÉTRICA DOS GRANITOS VERMELHO BRASÍLA E VERMELHO VENTURA APÓS ATAQUE ÁCIDO - SUELY M. B. SILVA, FELISBELA M. DA COSTA OLIVEIRA, EVENILDO BEZERRA DE MELO	30
O TECTONISMO NEOPROTEROZOICO E A FORMAÇÃO DOS JAZIMENTOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO – RUBEN SARDOU FILHO, GERSON M. M. DE MATOS, VANILDO A. MENDES, EDGAR R. H. F. IZA	42
CONDIÇÕES DE ALOJAMENTO DE MAGMAS DACÍTICOS NO TERRENO ALTO MOXOTÓ DA PROVÍNCIA BORBOREMA: ESTUDO DE CASO DA ROCHA ORNAMENTAL BLUE SUCURU - LAURO CEZAR MONTEFALCO DE LIRA SANTOS, EDILTON JOSÉ DOS SANTOS, HAROLDO MONTEIRO LIMA	50
SEGURANÇA E SAÚDE NA PRODUÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS - NURIA FERNÁNDEZ CASTRO, LEONARDO CATTABRIGA FREIRE	57
ANÁLISE COMPARATIVA DE PERFURATRIZES HIDRÁULICA E PNEUMÁTICA EM RELAÇÃO EFICIÊNCIA NA PERFURAÇÃO DE GNAISSE ORNAMENTAL - JÚLIO C. DE SOUZA, LADIMÍLSON P. DE ARAÚJO	69
VIABILIDADE TÉCNICA/ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO DE LAVRA DE PAINÉIS VERTICAIS EM COMPARAÇÃO COM O MÉTODO DE BANCADA REGULARES PARA ROCHAS ORNAMENTAIS - RODRIGO C. NOVAES, GLEICON R. S. MAIOR	83
ANÁLISE COMPARATIVA DO DESGASTE DE BITS E CUSTO DE PERFURAÇÃO EM GNAISSES ORNAMENTAIS COM PERFURAÇÃO HIDRÁULICA E PNEUMÁTICA - JÚLIO CÉSAR DE SOUZA, LADIMÍLSON P. DE ARAÚJO	92
ESTABILIDADE DOS MACIÇOS ROCHOSOS PARA LAVRA DE GRANITO COM BANCADAS ULTRA-ALTAS - GLEICON ROBERTO DE SOUSA MAIOR	104
O USO DOS MÁRMORES EM OBRAS DA PAMPULHA E DO DISTRITO FEDERAL - MARIA HELOISA B.O. FRASCÁ, RISALE NEVES	114

ROCHAS ORNAMENTAIS DO ESPÍRITO SANTO E DO NORDESTE: AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE ATRAVÉS DA CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA - GLENDA A.R.OLIVEIRA, FELISBELA MARIA DA COSTA OLIVEIRA, ALINNE MARIANNE MARTINS ARAÚJO, MÁRCIO LUIZ SIQUEIRA DE CAMPOS BARROS _____	124
ESTIMATIVA DE INCERTEZA DO MÉTODO DO PÊNDULO PARA MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA AO ESCORREGAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS - LETÍCIA VALDO, NURIA FERNÁNDEZ CASTRO ____	135
IDENTIFICAÇÃO DOS MINERAIS DO GRANITO AZUL SUCURU ATRAVÉS DA TÉCNICA DA DIFRAÇÃO DE RAIOS X - LÚCIO F. M. CAVALCANTI, FELISBELA M. C.OSTA OLIVEIRA, EVENILDO BEZERRA DE MELO _____	145
CONTRIBUIÇÃO DA MINERALOGIA À DUREZA KNOOP E AO DESGASTE ABRASIVO EM ALGUMAS ROCHAS SILICÁTICAS DE REVESTIMENTO - EDUARDO B. QUITETE, FABIANO C. NAVARRO, MARIA HELOISA B. O. FRASCÁ _____	155
QUANTIFICAÇÃO MINERALÓGICA MODAL MACROSCOPICA, EM ROCHAS ORNAMENTAIS SUBMETIDAS À COLORAÇÃO SELETIVA POR ATAQUE QUÍMICO, ATRAVÉS DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA DE IMAGENS - LARA CINTHIA A. S. BOLONINI, THIAGO M. BOLONINI, ANTÔNIO MISSON GODOY, LEONARDO SILVEIRA _____	165
INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE BRITAS GRANÍTICAS E GNAÍSSICAS NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO - MICKEY A. P. SILVA, FELISBELA M. DA COSTA OLIVEIRA, BELARMINO B. LIRA, MAYARA A. MODESTO, CHRISTIANE F.PERRELLA, MICHEL W. P. SILVA _____	175
ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO DO ESTÉRIL DE ROCHAS ORNAMENTAIS COMO AGREGADOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL - WEVERTON P. DO SACRAMENTO, MARIA DE LOURDES DE OLIVEIRA, LUANA L. FERREIRA, ROBSON WOTIKOWSKI GUEDES _____	184
DISPONIBILIDADE DE RESÍDUOS DE PEDREIRAS PARA APROVEITAMENTO NA PAVIMENTAÇÃO DA BR-101, NO ESPÍRITO SANTO - HIERES V. DA SILVA, NURIA FERNÁNDEZ CASTRO _____	195
APROVEITAMENTO DOS REJEITOS GERADOS NA EXTRAÇÃO MINERAL E NO BENEFICIAMENTO DAS MINAS PARA ORNAMENTAÇÃO E PAISAGISMO - ROMÁRIO S. FREIRE, MAX MEDEIROS JÚNIOR, MARCONDES MENDES DE SOUZA _____	205
APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA MINERAÇÃO E BENEFICIAMENTO DE ARDÓSIA - LUCIANA BOAVENTURA PALHARES, CLAUDIO G. DOS SANTOS _____	215
PRÉ-VIABILIDADE ECONÔMICA PARA O USO DO BEGE-BAHIA COMO CARGA EM COMPOSTOS POLIMÉRICOS - FRANCISCO W.H.VIDAL, GILSON EZEQUIEL FERREIRA, ROBERTO C. C. RIBEIRO _____	225
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS UTILIZANDO TEAR MULTIFIO - RÔMULO FURTADO FARIA, JULIANO TESSINARI ZAGÔTO _____	234
SITUAÇÃO MERCADOLÓGICA DE ROCHAS ORNAMENTAIS DA CIDADE DO NATAL/RN: UMA ABORDAGEM LOGÍSTICA - SILAS S. DOS S. COSTA, LUCAS DOS S. COSTA, MARCOS AURÉLIO DE OLIVEIRA MAIA, JEIMISON ANDRÉ GOMES DE PAIVA _____	244

POTENCIAL MERCADOLÓGICO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS DO ESTADO DA PARAÍBA -ARNALDO BEZERRA LOPES DE ALMEIDA254

PREVENÇÃO DA SILICOSE NA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS - RAUL Z. L. CANÇADO, ANTONIO E. C. PERES264

ANÁLISE PRELIMINAR DA QUALIDADE DO AR NO MUNICÍPIO DE CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM/ES - CARLOS MAGNO MUNIZ E SILVA, FRANCISCO W. H. VIDAL, JEFFERSON L. CAMARGO, RAFAELA F. P. ALVES, JOÃO L. N. COUTINHO274

INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DAS ROCHAS ORNAMENTAIS - NURIA FERNÁNDEZ CASTRO, MÔNICA C. BORLINI GADIOLI, CARLOS EDUARDO R. WANDERMUREM, ABILIANE A. PAZETO284

APRESENTAÇÕES PÔSTER

ANÁLISE DE POSSÍVEIS DANOS A MONUMENTOS PÉTREOS CAUSADOS POR MÉTODOS DE LIMPEZA - GABRIELA FERNANDES LACERDA, ROBERTO CARLOS C. RIBEIRO299

AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DEVIDO À POSSÍVEL AÇÃO MICROBIANA - MARCELO DE LUCCAS DOURADO, ANDREA CAMARDELLA DE LIMA RIZZO, ROBERTO CARLOS C. RIBEIRO308

TECNOLOGIAS DE CORTE UTILIZADAS NO DESMONTE DE ROCHAS ORNAMENTAIS - ERBERTT BARROS BEZERRA, ALEXANDRE JOSÉ BURIL DE MACÊDO, ELIEBER BARROS BEZERRA317

MEDIÇÃO DA PERDA DE BRILHO DE LADRILHOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS BRASILEIRAS SUBMETIDAS À CICLAGEM NATURAL - LEONARDO SILVEIRA, ALEXANDRE VALDO326

USO DA CORRELAÇÃO ENTRE IMAGENS NA CLASSIFICAÇÃO DA DESCARACTERIZAÇÃO SUPERFICIAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS SUBMETIDAS AO ATAQUE QUÍMICO - THIAGO M. BOLONINI, ANTÔNIO MISSON GODOY, LARA CINTHIA A. S. BOLONINI, LEONARDO SILVEIRA; ELTON S. DOS SANTOS337

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE LAVRA DE ROCHA ORNAMENTAL POR BANCADAS ULTRA ALTAS NAS MINERAÇÕES DE GRANITO NO NORTE DO ESPÍRITO SANTO - HEITOR P FAZÔLO, GLEICON R. S. MAIOR347

BIODETERIORIZAÇÃO DO REVESTIMENTO EXTERNO DO CENTRO DE CONVENÇÕES DA UFPE - SAMUEL E. PARAÍSO, FELISBELA M. DA COSTA OLIVEIRA, ARMANDO MARSDEN, KÊNIA CORREA, CRISTINA MOTTA356

AS ROCHAS DO MUSEO NACIONAL E MICRO AMBIENTE DE DEGRADAÇÃO - JOEDY PATRÍCIA CRUZ QUEIROZ, FERNANDA OLIVEIRA SENRA, ROBERTO CARLOS C. RIBEIRO366

ESTUDO COMPARATIVO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA MODELAGEM GEOMÉTRICA E CUBAGEM DE MACIÇOS ROCHOSOS - ÍTALO MARCOLINO DO CARMO, JÚLIO CÉSAR DE SOUZA, SUELEN SILVA ROCHA374

ANÁLISE DE COR EM IMAGENS DIGITAIS E ANÁLISE DE BRILHO PARA ROCHAS ORNAMENTAIS SUBMETIDAS AO ATAQUE QUÍMICO - THIAGO M. BOLONINI, ANTÔNIO MISSON GODOY, LARA CINTHIA A. S. BOLONINI, LEONARDO SILVEIRA, ELTON S. DOS SANTOS _____	384
A INFLUÊNCIA DOS MICRORGANISMOS NA DEGRADAÇÃO DE ROCHAS - JOEDY PATRÍCIA CRUZ QUEIROZ, BARBARA NUNES TASCA, ROBERTO CARLOS DA C. RIBEIRO _____	394
ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE PROTETIVOS EM ROCHAS E MINERAIS UTILIZADOS NA CONSERVAÇÃO DE BENS PÉTREOS - DANIEL SILVA BARBUTTI, ROBERTO CARLOS C. RIBEIRO, ROSANA ELISA COPPEDÊ DA SILVA _____	404
AVALIAÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE MINERAIS E AGENTES DE PROTEÇÃO UTILIZADOS NA CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO DE MONUMENTOS PÉTREOS - DANIEL SILVA BARBUTTI, ROBERTO CARLOS C. RIBEIRO _____	414
RISCOS DE ACIDENTES DE TRABALHO ASSOCIADOS AOS MÉTODOS DE LAVRA NO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS - WAGNER A NASCIMENTO, YOLACIR C. S. SANTOS _____	424
RESULTADOS PRELIMINARES DA CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO MÁRMORE DE SÃO RAFAEL – RN - ALINNE MARIANNE MARTINS ARAÚJO, ANTONIO AUGUSTO PEREIRA DE SOUSA, GLENDA A. R. OLIVEIRA, DIEGO BARBOSA, PRISCILLA THALITA BARROS LIMA _____	434
CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA PARA O SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS - JOSÉ A. RIBEIRO ALBUQUERQUE, LUCAS AGUIAR DE MEDEIROS, LUIS E. MORAIS CHAVES, ALEXANDRE JOSÉ BURIL DE MACÊDO, LAURO CEZAR MONTEFALCO DE LIRA SANTOS _____	444
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL DOS QUARTZITOS COLORIDOS DE VÁRZEA-PB - JOSÉ FIRMINO BARBOSA NETO, FABRÍCIO FERNANDES VIEIRA, ELISSANDRA N. MOURA _____	454
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E PETROGRÁFICAS DOS GRANITOS VERMELHO BRASÍLIA E VERMELHO VENTURA E SUA UTILIZAÇÃO COMO MATERIAL DE REVESTIMENTO EXTERNO - SUELY M. B. SILVA, FELISBELA M. DA COSTA OLIVEIRA, EVENILDO BEZERRA DE MELO, BETHÂNIA M. S. PONTES _____	463
IMPORTÂNCIA DA MICROSCOPIA NA AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS ORNAMENTAIS DO SIENITO MARROM IMPERIAL - THAÍSE M. F. KÁLIX, FELISBELA M. DA COSTA OLIVEIRA, EVENILDO BEZERRA DE MELO, WAGNER J. M. RIBEIRO, MÁRCIO LUIZ S. DE CAMPOS BARROS _____	473
GUIA PRÁTICO DE USOS DE ROCHAS PARA REVESTIMENTOS - JONES F. CABRAL, FELISBELA M. DA COSTA OLIVEIRA, LUCILA E. P. BORGES _____	483
INFLUÊNCIA DA POROSIDADE NO USO DE QUARTZITOS COLORIDOS DO SERIDÓ PARAIBANO - RAYANE DE L. CIRILO, ELISSANDRA N. MOURA, FABRÍCIO FERNANDES VIEIRA _____	493
O USO DO LIMESTONE COMO ROCHA ORNAMENTAL - LARISSA L. T. BARBOSA, RISALE NEVES _____	502
CARACTERIZAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO ESTADO DO CEARÁ – UMA ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS ENSAIOS TECNOLÓGICOS - LEONARDO C. DE QUEIROZ, RONEY SÉRGIO M. DE MOURA, LUZIA S. A. DOS SANTOS _____	512

ANÁLISE E COMPARAÇÃO DE MÉTODOS PARA BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS: ESTUDO DE CASO NAS EMPRESAS FUJI E GRANFUJI EM CAMPINA GRANDE, PARAÍBA - LUCAS E. BATISTA OLIVEIRA, JOSÉ F. DE FRANÇA JUNIOR, JOSÉ A. RIBEIRO ALBUQUERQUE, LUIS E. MORAIS CHAVES, LAURO CEZAR MONTEFALCO DE LIRA SANTOS _____	523
FORMAS DE APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS GERADOS PELO BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS NO MUNICÍPIO DE CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM – ES - LEALDO LIMA DA SILVA, PAULO SILAS RODRIGUES DE BRITO, GABRIEL MACHADO DE MATTOS, MARCIEL ZUCOLUTO PIZETTA _____	533
EFEITOS AMBIENTAIS CAUSADOS POR RESÍDUOS GERADOS NAS PEDREIRAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS - LUCIVANIO V. DA SILVA, MARCONDES M. DE SOUZA, FRANCISCO A. DE QUEIROZ _____	
OTIMIZAÇÃO DO MÉTODO DE LAVRA NA EXTRAÇÃO DO QUARTZITO – COMUNIDADE _____	542
QUILOMBOLA SUMIDOURO, QUEIMADA NOVA – PIAUÍ - ALINNE MARIANNE MARTINS ARAÚJO, ANTONIO AUGUSTO PEREIRA DE SOUSA, JOSIVAN PEREIRA SILVA JR., FRANCIELSON SILVA BARBOSA, ARMÊNIA SOARES XAVIER _____	548
ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO DO REJEITO DO BENEFICAMENTO DO GRANITO, LAMA RESIDUAL, PARA FABRICAÇÃO DE BLOQUETES PARA USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL - WEVERTON PEREIRA DO SACRAMENTO, MARIA DE LOURDES DE OLIVEIRA, LUANA LEITE FERREIRA, ROBSON WOTIKOWSKI GUEDES _____	558
A SUSTENTABILIDADE NA GESTÃO DE RESÍDUOS PARA O APROVEITAMENTO DE MATERIAIS DE REJEITOS DAS ROCHAS ORNAMENTAIS EM MARMORARIAS - JONAS RONALD GUILHERMINO SILVA, JÚLIO CÉSAR DE SOUZA, FARAH DIBA DA SILVA _____	573
CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS MINERAIS PROVENIENTES DE RESÍDUOS GROSSEIROS DE ROCHAS ORNAMENTAIS - BRUNO A. CARLETE, HIERES VETTORAZZI DA SILVA, NURIA F. CASTRO _____	584
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL COMO DESAFIO NA EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS - DÉBORA EZEQUIEL CAVALCANTI, RANIERI DE ARAÚJO PEREIRA, JOSÉ DE ARAÚJO NOGUEIRA NETO, AGNALDO FRANCISCO DE FREITAS FILHO _____	593
GRANITO AZUL SUCURU: ESTUDO DA VIABILIDADE AMBIENTAL ATRAVÉS DA CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO MATERIAL - LÚCIO F. M. CAVALCANTI, FELISBELA M. DA COSTA OLIVEIRA, EVENILDO BEZERRA DE MELO, AMANDA C. FERNANDES _____	603
IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS PELA EXTRAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS COM O MÉTODO DE BANCADAS ULTRA- ALTAS NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO - RAFAELA C. SANTOS, GLEICON R. S. MAIOR _____	614
AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DA MINERAÇÃO DA PROVÍNCIA PEGMATÍTICA BORBOREMA/SERIDÓ (PB/RN) - KEYLA KARLA M. SILVA, VIVIANNE DE CÁSSIA P. ANDRADE, HERMESON C. RODRIGUES, SUELEN SILVA ROCHA, EVENILDO BEZERRA DE MELO _____	624
UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DOS PEGMATITOS ORNAMENTAIS DE EQUADOR/RN PARA FORMULAÇÕES DE CIMENTO PORTLAND - MARCOS AURÉLIO DE OLIVEIRA MAIA, JEIMISON ANDRÉ GOMES DE PAIVA, MARCONDES MENDES DE SOUZA _____	636

ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE QUARTZITOS PROVENIENTES DA REGIÃO DO SERIDÓ PARAIBANO NA INDÚSTRIA CERAMICA - ANNE G. ARCANJO DA SILVA, DEFSSON D. DE ARAÚJO FERREIRA, MÔNÝKA KAROLINE DOS SANTOS, ANDRADE G ADRIANA LEMOS PORTO _____	645
TÉCNICAS PARA OBTENÇÃO DE PARALELEPÍPEDOS E MEIOS FIOS NA PEDREIRA MARI PRETO, MUNICÍPIO DE PICUÍ-PB - FRANCISCO DE ASSIS SOUZA, ANA KARLA L. DA SILVA _____	653
INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE PEDRA-SABÃO UTILIZADOS COMO ADSORVENTES DE ÓLEOS VEGETAIS COMO PRODUTO ESTRUTURAL CERÂMICO - LUANA F. DE CARVALHO, LEONARDO O. BRASIL, HELOÍSA N. DE SOUZA, ÉRICA L. REIS, ROSA M. F. LIMA _____	663
RELEVÂNCIA DA AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DE ROCHAS PARA O SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS - THALISSA P. ALTOÉ, MILLENA BASÍLIO DA SILVA, LUCIANA MARELLI MOFATI _____	670
CARACTERIZAÇÃO RADIOMÉTRICA DE GRANITÓIDES DO CEARÁ - JONI GASPAR MARQUES, MARIA DO ROSÁRIO MASCARENHAS DE ALMEIDA AZEVEDO, JOSÉ DE ARAÚJO NOGUEIRA NETO, ALCIDES JOSÉ SOUSA CASTILHO PEREIRA, FRANCISCO DIONES OLIVEIRA SILVA _____	681

ERRATA



IX Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste

10 a 13 de abril / 2016

João Pessoa - PB

TRABALHOS APRESENTADOS ORALMENTE

PATRIMÔNIO GEOLÓGICO CONSTRUÍDO DO BRASIL: MATERIAIS PÉTREOS E EXTENSÃO DA DETERIORAÇÃO

Antônio Gilberto Costa¹

¹ Professor, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais

ag.costa@uol.com.br

RESUMO

O patrimônio construído do Brasil, edificado com a utilização de diferentes tipos de materiais pétreos, que refletem sua geodiversidade, apresenta evidentes sinais da atuação de diferentes processos de alteração e de degradação, o último, implicando em deteriorações por conta de modificações de propriedades intrínsecas desses materiais. Edificações históricas, localizados em cidades como Recife, Olinda, João Pessoa, São Cristovão, Salvador, Rio de Janeiro, Congonhas e Ouro Preto, algumas com mais de 300 anos de idade, tiveram seus materiais e processos de alteração e de degradação pesquisados para uma avaliação dos seus respectivos estados de deterioração.

PALAVRAS-CHAVE: patrimônio construído, rochas, degradações.

ABSTRACT

The built heritage of Brazil, constructed with the use of different types of stone materials, which reflect its geodiversity, presents obvious signs of action of different change processes and degradation, the latter resulting in deterioration due to the intrinsic properties modifications of these materials. historic buildings located in cities like Recife, Olinda, João Pessoa, São Cristovão, Salvador, Rio de Janeiro, Congonhas and Ouro Preto, some over 300 years old, had their materials and change processes and degradation searched for a evaluation of their respective states of deterioration.

KEYWORDS: built heritage, rocks, degradations.

1. INTRODUÇÃO

O território brasileiro apresenta grande diversidade de tipos de rochas e essa diversidade encontra-se representada em seu patrimônio geológico construído (COSTA et al. 2004, 2008). Por conta disso, de norte a sul e de leste a oeste, podem ser observados variados tipos de materiais pétreos em construções históricas, sejam religiosas, civis, administrativas ou militares, e que atualmente compõem parte do conjunto de bens imóveis do Patrimônio Cultural do Brasil. A esses materiais, devem ser acrescentadas aquelas rochas, trazidas ou importadas principalmente de Portugal e da Itália.

No tempo e no espaço, constata-se uma relação direta entre a localização dessas edificações e atividades econômicas, proporcionando recursos necessários para suas viabilizações. Ao nível do território nacional, destacam-se dois conjuntos de edificações localizados nas regiões nordeste e sudeste do país. No tempo, o conjunto de edificações da região nordeste, em especial aquelas que se encontram em cidades históricas como Recife, Olinda, João Pessoa, São Cristovão e Salvador, foi edificado com maior significado entre meados do século XVI e o final do XVII e com recursos fornecidos pelo comércio do açúcar. No caso do conjunto da região sudeste, em especial o de cidades históricas de Minas Gerais e do Rio de Janeiro, o período foi aquele compreendido entre o início do XVIII e o final do XIX, com maior contratação de obras durante a segunda metade do século XVIII e para tanto contribuíram as volumosas ocorrências de ouro e de diamantes.

Ainda no tempo, após a ocupação de boa parte da costa do Brasil, teve início, em fins do século XVII, a fase de conquista e ocupação do interior do país e os portugueses focaram suas ações e edificações em regiões com alguma comprovação para ocorrências de ouro e de diamantes, como foi o caso da região centro sul da América portuguesa, que há essa época ficou conhecida como das minas. Mas as dificuldades a serem enfrentadas foram inúmeras e a utilização das rochas foi restrita e nem sempre muito adequada. De modo geral, esta menor utilização de materiais pétreos, quer nas alvenarias, quer nas cantarias das construções no Brasil, até fins do século XIX, pode ser entendida em função da distribuição irregular desses materiais, assim como pela quase total ausência de materiais adequados em algumas regiões, aliadas à falta de pessoal com qualificação, especialmente para o trabalho da cantaria. Por conta disso, e com frequência, viram-se os responsáveis por essas construções, obrigados a recorrer a outras técnicas e a outros materiais menos resistentes, como a madeira, o barro ou a argila.

Por outro lado, e já ao longo da segunda metade do século XVIII, começaram a faltar recursos aos construtores, em especial aos das ordens religiosas, para a contratação, por exemplo, de mestres de cantaria, pois o ouro e os diamantes já não eram produzidos em grandes quantidades. Alie-se a tudo isso, a falta de interesse por parte dos próprios colonos que alimentavam sempre a esperança de enriquecimento rápido e de um retorno à terra natal. Mas nem por isso ficou o Brasil, e em especial Minas Gerais, Bahia, Paraíba e Pernambuco, sem os belos monumentos, em especial os barrocos e rococós típicos do século XVIII.

2. AS ROCHAS UTILIZADAS NAS CONSTRUÇÕES HISTÓRICAS DO BRASIL

Nas edificações do nordeste do Brasil, diferentes tipos de calcários, arenitos e calcarenitos de arrecifes, tiveram usos muito difundidos nas construções, tanto no norte, quanto em vilas e cidades nas capitanias e províncias do nordeste do Brasil colônia e depois império (CARVALHO, 1942; COSTA, 2009; SILVA, 2002). Esses materiais, que em comparação com granitos, quartzitos e mármore, mostram-se mais adequados para a arte escultória, sendo o primeiro mais macio e o segundo mais resistente, afloram ao longo de todo o litoral nordeste do Brasil, desde Natal até o Recôncavo Baiano. Nessa região, a utilização dos calcários foi mais frequente na Bahia, em Sergipe e na Paraíba, enquanto os arenitos e calcarenitos foram mais empregados nas regiões de Recife e de Alagoas, onde podiam ser facilmente extraídos nos arrecifes e nas praias.

Em João Pessoa, no estado da Paraíba, a igreja e o convento de Santo Antônio, com seu belo chafariz, bem como a capela edificada pela antiga Ordem Terceira de São Francisco, foram construídos em local onde afloravam rochas calcárias utilizadas tanto nas alvenarias, quanto na produção de vários de seus elementos decorativos. Entre esses se destaca um belo arranque constituído por volutas, folhas e carranca, e localizado junto ao corrimão da escada de acesso ao pavimento superior do claustro do convento. No caso dos materiais empregados na construção do Convento de Santo Antônio da Paraíba, registro redigido por Frei Antônio de Santa Maria Jaboatão¹ em meados do século XVIII, e que pode ser consultado no próprio convento ou na *Crônica dos Frades Menores da Província do Brasil*, descreve a pedreira, que existiu no sítio desse convento. Além desta descrição, fazem parte do documento informações sobre os processos de extração e de caracterização do material, segundo a sua destinação na obra de edificação do referido convento:

¹ O documento de Frei Jaboatão encontra-se publicado na obra: *Novo Orbe Seraphico Brasílico*, p. 357, Cap. VIII § 304, Livro III. Foi reproduzido em parte na *RSPHAN*, no. 6, 1942, p. 287-288.

"Nesta ...pedreira... do Convento se tirou, e tira, ainda que já com algum trabalho de desmontar a terra pelos seus altos, toda a pedra, assim de cantaria, como a mais, que he necessária a qualquer obra ou edificio.

Consta de vários bancos, Como explicão os mestres da arte. Do primeyro que se cobria ao princípio, e pelas baixas de pouca terra, e em muitas partes descuberto, se tira a pedra tosca, e ... de alvenaria, do segundo outra menos aspera mas forte, de que se faz perfeita e forte cal, do terceyro cabeços para fortalecer as paredes e do quarto a que serve para se lavrarem portaes, e outras semelhantes peças, não tão dura, e aspera, como as pymeiras, mas muito mais alva, solida e liza da qual se fazem lavragens.

Toda sendo de grande conveniência e menos custo para as obras do convento que muito depois se levantou de novo, tirando-se de dentro da sua cerca todo o material de pedras e cal e tãobem o saibro, que serve em lugar da areia, e he huã terra algum tanto vermelha que depois de tirada alguã, se segue esta athe se dar com o primeyro banco da pedreira, e tudo isto se tira dentro do terreno da cerca, sem a molestia de o pedir, e comprar fora."

Ainda na região de João Pessoa, em Lucena, a Igreja de Nossa Senhora da Guia, construída entre 1763 e 1778, em substituição a uma antiga capela de fins do século XVI, apresenta em seu frontispício um belo arranjo de frutas esculpidas em calcário local, igualmente utilizado na construção de seu arco cruzeiro e portais.

No Recife, no estado de Pernambuco, o arenito, encontrado nos arrecifes e praias do litoral, foi utilizado na alvenaria, na cantaria e nas esculturas de suas inúmeras igrejas, como pode ser visto na Igreja dos Prazeres, na de São Pedro dos Clérigos, na do Rosário dos Pretos, na Matriz de Santo Antônio e na Igreja de Nossa Senhora do Carmo.

Já nas construções mais antigas de Olinda, igualmente em Pernambuco, o calcário foi mais utilizado. Em parte trazido da região de João Pessoa, no estado da Paraíba, foi empregado entre outras, na construção de arcos e dos retábulos dos altares laterais da Igreja de Nossa Senhora das Graças, no Seminário de Olinda, edificado entre 1551 e 1592 e na produção de diversos elementos da Capela de Nossa Senhora do Carmo, construída por volta de 1580. Nas obras mais novas, como no caso da Basílica de São Bento, reconstruída em pedra e cal entre 1688 e 1692, foi utilizado o

arenito, por oferecer maior resistência em relação ao primeiro. Documentos da Ordem de São Bento (CARVALHO, 1942), do Mosteiro de Olinda, comprovam despesas com a retirada do arenito dos arrecifes, para a construção de cunhais, arcos, ombreiras, cimalthas e cartelas da capela do mosteiro dedicada à Nossa Senhora dos Prazeres dos Montes Guararapes. Em Igarassú, outro importante sítio histórico pernambucano, o calcário foi empregado tanto na alvenaria, quanto na cantaria. Em construções de Goiana, como no caso do Convento de Santo Alberto da Sicília, também foram usadas rochas calcárias. Ainda em Pernambuco, em Serinhaém, Ayrton de Carvalho (1942) e Costa (2009) fazem referências tanto para a utilização do arenito, na construção de arcos, ombreiras e cimalthas da capela do Convento de Santo Antônio, quanto do granito, este empregado na chamada alvenaria ordinária desta construção.

No estado de Alagoas, na cidade de Penedo, o arenito aflora às margens do Rio São Francisco e foi utilizado para a produção de ornatos e cantaria. Na Igreja de São Gonçalo Garcia, além das portadas e cunhais, também podem ser observados detalhes rendilhados produzidos em material arenítico, que em nada ficam a dever aos rendilhados em pedra sabão observados em Minas Gerais, ou aos produzidos em calcário em Santo Amaro.

No interior de Sergipe, em cidades como São Cristovão, Santo Amaro das Brotas e Laranjeiras, assim como em cidades localizadas no litoral, o calcário foi empregado, em especial pelos jesuítas, para a produção de cunhais, cimalthas, escadas, soleiras e arcos cruzeiros.

Em Salvador, apesar do uso mais frequente dos calcários, merece destaque o frontispício da Capela da Ordem Terceira de São Francisco. Construído em parte em calcário, mas também em arenito, apresenta-se coberto da base até a cumeeira, por inúmeras figuras e enfeites, que segundo Germain Bazin (1981) *lembra o* estilo arquitetônico de fachadas muito decoradas, associado ao Renascimento espanhol e conhecido como Plateresco.

Gnaisses, rochas ígneas como granitos e gabros, estes erroneamente designados como granitos pretos e rochas vulcânicas diversas, tiveram usos muito subordinados nas construções desses antigos centros históricos do nordeste. No interior de Sergipe, em Gerú, rochas gnáissicas foram utilizadas pelos padres da Companhia de Jesus, tanto na construção da sua igreja, quanto na de elementos da portada da casa chamada Engenho Retiro.

Enquanto nas regiões norte e nordeste do Brasil, a utilização de rochas sedimentares, macias ou pouco consolidadas predominou, nas regiões sudeste e sul foram empregadas rochas metamórficas, com destaque para quartzitos, xistos e gnaisses, assim como ígneas representadas por granitos diversos. De modo geral, essas rochas afloram muito próximas ou constituem os

embasamentos sobre os quais foram assentados diversos dos sítios históricos localizados no interior ou nas zonas costeiras de antigas capitanias e províncias, desde os tempos da América portuguesa.

Por conta disso os granitos e gnaisses foram muito utilizados em diversas construções, destacando-se aquelas da antiga Capitania do Rio de Janeiro. Estas freqüentes aplicações podem ser constatadas em construções e monumentos de cidades como: Rio de Janeiro, Paraty, Cabo Frio e Angra dos Reis, assim como na antiga Vila de Nossa Senhora do Desterro, na Ilha de Santa Catarina, atual Florianópolis, que a essa época fazia parte da citada capitania. Na cidade do Rio de Janeiro, várias de suas igrejas, capelas, conventos, residências, fortalezas e palácios, foram erigidas com a utilização de diversos tipos de granitos e gnaisses, com o predomínio dos últimos. Estes, finamente bandados ou não, normalmente contêm cristais de feldspatos e de quartzo, com granulação variando de fina até centimétrica, que em muito se assemelham a grandes olhos, por conta das diferenças de tamanho destes grãos em relação às demais partes da rocha. Com freqüência pintalgados por cristais avermelhados de granada, em meio a uma massa de cor cinza esbranquiçada, estes materiais foram trabalhados por especialistas, quase sempre vindos de Portugal e em especial da região do Minho. Para a região sul, além dos gnaisses, merece destaque a utilização de basaltos e arenitos.

Já em Minas Gerais (COSTA, 2013, 2014), igualmente localizada na região sudeste do Brasil, mas em seu interior, suas principais vilas e cidades foram instaladas sobre outros materiais, tais como: os quartzitos e xistos diversos, a canga e a pedra sabão. Nessa capitania, tanto os calcários, quanto os gnaisses e mesmo os granitos, embora frequentes, foram muito pouco utilizados.

Apesar dessa diversidade geológica e abundância de ocorrências, relativas à região mineira, à exceção dos calcários que sempre foram raros e de modo geral ruins para a arte da cantaria, a localização das áreas de extração das rochas, ou as tecnologias para as suas extrações e beneficiamento disponíveis à época, bem como as formas de relevo do território mineiro, exerceram alguma influência na escolha dos materiais e na opção da técnica construtiva, resultando disso o emprego, às vezes reduzido das “pedras”, ou mesmo a sua não utilização.

Apesar de toda essa variedade de rochas, foram também muito utilizadas nas edificações do Brasil as rochas calcárias trazidas de Portugal, e em menor volume da Itália. Exemplos dessas aplicações são encontrados em várias vilas e cidades localizadas, principalmente na zona litorânea do Brasil, e com ênfase para aquelas das regiões norte e nordeste. Na construção de monumentos, outras edificações e esculturas em Minas Gerais, entre o início do século XVIII, em Vila Rica e o início do século XIX, em Belo Horizonte, não se encontram registros da utilização de significativos volumes

de materiais pétreos portugueses e de outras partes do mundo, muito certamente em função da localização dos seus centros urbanos. Assim, as enormes distâncias em relação à costa e a ausência de vias de acesso adequadas, determinavam uma elevação de custos para o transporte desses materiais e fizeram com que os construtores mineiros optassem por produtos locais.

3. A DEGRADAÇÃO DAS ROCHAS E A DETERIORAÇÃO DO PATRIMÔNIO CONSTRUÍDO

A partir de observações envolvendo diferentes aplicações de rochas na produção de bens que integram o patrimônio cultural do Brasil, foi possível constatar a presença de diversos sinais que comprovam a ação de processos responsáveis pela alteração ou mesmo degradação dessas rochas e pela conseqüente e, às vezes inexorável, deterioração desse patrimônio.

Em parte esses processos são naturais, encontram-se em andamento desde a gênese dos materiais pétreos ali empregados e têm a ver com a alteração dos mesmos, mas em uma escala geológica de tempo. Tratam-se de alterações primárias ou deutéricas e de alterações secundárias, estas últimas envolvendo as transformações relacionadas com os processos de intemperismo. Aliam-se a estas, outras transformações, mas atuantes à escala de tempo do Homem, identificadas como alterações e degradações (*decay*), e que podem, no caso das últimas, levar à deterioração de monumentos históricos, mas à escala de tempo do homem e de seus projetos arquitetônicos. No caso das degradações, que normalmente resultam da interação de fatores relacionados com as características das rochas (intrínsecos) com aqueles relacionados com o meio (extrínsecos), entendi-se que as mesmas podem também ter sido induzidas pelos métodos de extração, de beneficiamento e de aplicação empregados, quando da construção desses monumentos. É consenso que a extração pode provocar o aparecimento de trincas por conta de vibrações e o beneficiamento, além das microfissuras, pode igualmente contribuir para a degradação das rochas, na medida em que alguns tipos facilitam, por exemplo, a fixação de partículas. Na aplicação dessas rochas os processos de alteração e de degradação podem ser influenciados pela atuação de materiais utilizados na fixação desses materiais, que por sua vez podem levar ao aparecimento de manchas ou de eflorescências.

Resultados de uma pesquisa em andamento, que se concentra na investigação de materiais pétreos, como calcários, esteatito, serpentinitos, quartzitos, xistos, gnaisses e granitos, utilizados na construção de edifícios pertencentes ao patrimônio cultural do Brasil, apontam para a atuação desses processos, que em maior ou menor grau comprometem de alguma forma as edificações que

compõem esse patrimônio, levando a alguma perda de valor, ou algum impedimento de utilização, de acordo com as indicações do glossário ilustrado sobre os padrões de deterioração proposto pelo ICOMOS (2008).

Por meio de descrições macroscópicas foi possível identificar a presença de numerosas fissuras, elevações e destacamentos de camadas externas de algumas rochas, separação de camadas, desagregação dos grãos individuais ou agregados de grãos, perda de superfície original devido à ação mecânica ou não, resultando na presença de formas suavizadas, perda de partes de esculturas, assim como a presença de cavidades ou alvéolos formados na superfície da rocha, como aqueles existentes em peças trabalhadas em calcário e que integram o conjunto da igreja de São Pedro dos Clérigos, em Recife. Também foram observadas: a presença de crostas, em grande parte negras, como aquelas presentes em boa parte da fachada da igreja de Santo Antônio, em João Pessoa, formadas por acumulação tanto de materiais estranhos, quanto daqueles produzidos a partir da própria rocha, assim como mudanças cromáticas, eflorescências, incrustações com interferências na morfologia da superfície e coloração das rochas envolvidas, pátinas, grafite como resultado de vandalismo e por fim diferentes graus de colonização biológica, envolvendo a presença de mofo, líquen, algas e plantas.

Nessas construções, assim como em outras onde rochas foliadas, como os xistos, foram utilizadas, os processos de degradação atuaram de forma mais rápida e esse desempenho tem a ver com os cortes utilizados. Com frequência verifica-se que blocos cortados, tanto paralelos, quando perpendicularmente aos planos de foliação da rocha, foram utilizados de forma indiscriminada, sem qualquer preocupação em associar o tipo de corte com as exigências demandadas em cada uma dessas aplicações. Dessa forma, nos blocos de corte paralelo, onde os planos da foliação encontram-se na vertical, verifica-se, por exemplo, que a decomposição se manifesta muito rapidamente por descamação da superfície aparelhada. Também foram encontradas fissurações e fendas oblíquas, que em parte são devidas a rupturas acidentais ou durante a colocação dos blocos. Assim, a ação mecânica terá concorrido em muito para as avarias observadas e com certeza, utilizados nesta posição, os blocos mostraram-se menos resistentes aos efeitos das compressões e romperam-se com maior facilidade, segundo estes planos.

Outro importante exemplo de aplicação pétrea que apresenta evidentes sinais de degradação é a da pedra sabão ou esteatito. Nesse caso, além da facilidade com que esse material pode ser riscado, por conta da baixa dureza de seu principal constituinte mineralógico, a presença de um número significativo de diferentes minerais nesses esteatitos, portanto não homogêneos, e onde

cada fase mineral tem o seu coeficiente térmico de dilatação, contribuiu para o aparecimento de fissuras e trincas. Mas, de modo geral, as principais avarias observadas nas aplicações para pedra sabão envolvem o surgimento de cavidades, pois os freqüentes enriquecimentos locais em óxidos de ferro, em sulfetos (pirita) ou em silicatos pulverulentos, uma vez alterados são facilmente removidos. A frequente presença de cristais de carbonato, normalmente dolomita, também contribui para a formação dessas cavidades, por dissolução, em parte acelerada pelo fenômeno das chuvas ácidas.

Especialmente com relação a esse processo de formação de cavidades ou alvéolos em esteatito, pode ser considerado o caso das estátuas dos projetas instaladas no adro do Santuário do Bom Jesus, em Congonhas, Minas Gerais. Com acompanhamento visual nos últimos quinze anos, constata-se uma aceleração desse processo nos últimos sete anos. Nesse tempo, verificou-se que manchas deram lugar a cavidades, algumas com profundidades entre 0,5 e 1,0 cm.

Muitos dos quartzitos e alguns granitos utilizados também mostram extensa oxidação, resultando disso uma grande variedade de tonalidades para as rochas. Em várias dessas construções estão presentes os efeitos da arenização e da hidrólise, como nas portas de acesso aos púlpitos no interior da Capela do Carmo em Ouro Preto, ou dos deslocamentos, como no caso das peças de quartzito das bases das pilastras externas dessa capela. Muitas dessas irregularidades e desgastes resultaram da ação combinada ou não da chamada erosão eólica, dos desgastes por abrasão, ou por ação da água, como aquelas encontradas nos degraus da escada da Casa Capitular ou de acesso ao adro do Santuário de Congonhas do Campo.

O posicionamento de algumas das construções de Minas, como o da Capela de Santo Antônio, no distrito de Itatiaia, da Igreja de Santo Antônio de Tiradentes e o do Santuário do Bom Jesus de Congonhas, considerando-se as correntes dos ventos, a insolação e índices de umidade, explicam o desenvolvimento de extensas colônias de algas e líquens, fenômenos de oxidação e o desenvolvimento diferenciado de patinas. Microfissuramentos pré-existentes ou induzidos evoluíram e provocaram a separação de partes de um mesmo bloco, com perdas significativas de massa, como verificado em várias das estátuas dos profetas de Congonhas, assim como em diversas das esculturas localizadas em inúmeros medalhões e portais de diversas capelas, como é o caso das fissuras e lascamentos nos serafins alados e nas faces de querubins do baixo-relevo que compõe o frontispício de São Francisco de Assis de Ouro Preto.

Por meio de avaliações *in loco* e por meio de análises em laboratório, envolvendo variações bruscas de temperatura, ação de materiais corrosivos ou variações das condições de oxidação, entre

outras, foram confirmadas e verificadas as interferências de diversos fatores nas características de várias dessas rochas, contribuindo para modificações cromáticas, perda de resistências e comprometimento de padrões estéticos.

4. CONCLUSÕES

Como se sabe, a degradação das rochas após suas instalações e exposições nos monumentos, só tende a aumentar com o tempo, pois agora as mesmas se encontram em ambientes estranhos e sujeitas a condicionamentos termodinâmicos muito diferentes daqueles onde se formaram.

Então, se existe a possibilidade da eliminação, por meio da educação, dos impactos por conta da atuação de fatores, como os antropológicos, o mesmo não pode ser dito com relação à ação daqueles outros mencionados acima. Assim, corrosões, desagregações, formação de incrustações, erosões diferenciais e esfoliações dos materiais pétreos, dentre outras das patologias que acometem as rochas, poderão ser mantidas sob controle ou monitoradas, mas nunca poderão ser totalmente eliminadas.

Logo, e para a conservação e manutenção desse patrimônio recomenda-se a eliminação de toda e qualquer possibilidade de umidade, em especial a ascendente, assim como limpezas por atrito, principalmente sobre a pedra sabão, os xistos e as rochas calcárias. Para o caso dos monumentos que têm suas partes em pedra expostas, e em especial para aquelas várias esculturas produzidas em pedra e que serão mantidas em áreas externas, apesar da possibilidade de serem removidas e substituídas por cópias, recomenda-se que devam ser conservadas, por exemplo, as suas respectivas pátinas e crostas. Normalmente, a presença dessas películas pode não levar à deterioração, ou afetar a estética dos monumentos ou das esculturas, acabando assim por desempenhar o papel de elemento protetor e até mesmo consolidador de partes alteradas. Além disso, sua presença pode impedir novas perdas ou desgastes por conta da continuidade de ataques a que continuarão sujeitos os materiais que compõem os monumentos.

De qualquer forma, cada ocorrência merece uma cuidadosa avaliação e toda e qualquer decisão na direção de uma manutenção ou mesmo da restauração, deve ser precedida de estudos interdisciplinares, contando sempre com a presença de um geólogo. Esses estudos devem contemplar o levantamento de informações e de dados sobre as condições ambientais onde se encontra instalado o monumento, sobre as características dos materiais empregados em sua construção e sobre os tipos e a extensão de eventuais danos.

Espera-se, com base nos dados obtidos, que seja possível contribuir para a indicação de métodos de conservação e manutenção mais recomendados para cada caso de degradação observada nesses monumentos construídos em pedra. Por outro lado, e considerando que a maior parte desses materiais permanece exposta e em contato direto com condições adversas, conclui-se que esses esforços serão suficientes apenas para retardar ações e minimizar efeitos desses processos de degradação que com o tempo provocarão a deterioração desse patrimônio.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAZIN, G., A Escultura Monumental do Nordeste. *In*: Nunes, G.L. (Trad.), *Arquitetura Religiosa no Brasil*, Editora Record, Rio de Janeiro, Vol I (1981) p. 189.

CARVALHO, A. Algumas notas sobre o uso da Pedra na Arquitetura Religiosa do Nordeste. **Revista do Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional**, No. 6 (1942) p. 277-294.

COSTA, A.G.; SILVA, M.E.; BECERRA-BECERRA, J. Ornamental and dimension stones: a study of cultural heritage buildings in Brazil. *In*: International Geological Congress, 32. Florence, Italy. **Anais...Florence**, 2004.CD Rom.

COSTA, A.G.; BRUNO, R.; BECERRA-BECERRA, J. Ornamental stones in monuments: a guide for the characterisation and evaluation. *In*: Dimension Stones ICPS XXI. Century Challenges Proceedings of the Second International Congress, Carrara, Italy. **Anais...Carrara**, 2008.p. 331-335.

COSTA, A.G. *Rochas e Histórias do Patrimônio Cultural do Brasil e de Minas Gerais*. Editora UFMG, Belo Horizonte. 2009. 292p.

Costa, A.G. Stone Materials, Constructions Techniques and Alterations in Historic Buildings: Examples from Minas Gerais, in Brazil and from the Braga and Viseu Districts in Portugal. **Key Engineering Materials**, Vol 548, (2013) p. 336-347. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.548.336>.

COSTA, A.G. Natural stone in the built heritage of the interior of Brazil: the use of stone in Minas Gerais, *in* Pereira, D., Marker B.R., Kramar, S., Cooper, B.J., and Schouenborg, B.E., eds., *Global Heritage Stone: Towards International Recognition of Building and Ornamental Stones*: **Geological Society of London**, Special Publications, v. 407, (2014) p. 253–261, <http://dx.doi.org/10.1144/SP407.13>.

ICOMOS-ISCS. International Scientific Committee for Stone: Monuments and Sites XV. Illustrated glossary on stone deterioration patterns: International Council on Monuments and Sites (ICOMOS), Paris. 2008. 78 p.

SILVA, L.D. *Pernambuco Preservado. Histórico dos Bens Tombados no Estado de Pernambuco*, Recife. 2002. 266p.

ALTERABILIDADE ACELERADA POR IMERSÃO DO SIENITO MARROM IMPERIAL: CASO DAS FÁCIES EXPORTAÇÃO E AURÉOLA ROSA

Wagner J. M. Ribeiro¹, Felisbela M. C. Oliveira², Sandra B. Barreto³, Thaíse M. F. Kálix⁴

¹ Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco - IFPE;

^{2,3,4} Programa de Pós-graduação em Engenharia Mineral - UFPE;

felisbela.oliveira@ufpe.br

RESUMO

Estudo de lixiviação ácida acelerada de duas fácies do granito Marrom Imperial (Imperial Brown), fácies export e fácies aureola rosa, é apresentado neste trabalho. Após ensaios observa-se aumento de porosidade, que se mostra diretamente associado ao tempo de imersão, ao tipo da solução lixiviante, e aos mecanismos de ataque aí desenvolvidos. Para a fácies export, constatam-se porosidades finais de 1,02% em HNO₃ e 1,05% em H₂SO₄/HNO₃, superiores ao limite recomendado pela NBR 15844 (2010). A absorção d'água mostra-se diretamente associada à elevação da porosidade para ambas as fácies. Modificações estéticas na superfície polida das fácies foram observadas em ambos os materiais, variando de acordo com o período e com a natureza química da solução lixiviante; as mais significativas foram observadas, para ambas as fácies, na lixiviação com solução H₂SO₄/HNO₃, para os dois períodos de imersão de 30 e 60 dias. Formação de microcavidades e evidências de microfissuras nos planos de clivagens formando linhas paralelas e anastomosadas, são observadas porém bem mais evidenciadas na fácies export. Quanto a cinética das soluções lixiviantes, os dados sugerem possibilidade da existência de dois mecanismos de ataque químico, um por dissolução e outro por oxido-redução, que estariam relacionados a composição, textura, mineralogia e ao tempo de imersão. As perdas de massa e diminuição de brilho ocorreram mais pronunciadamente na fácies export, evidenciando assim a menor resistência desta fácies aos processos de alterabilidade.

Palavras-chave: alterabilidade de rochas; Marrom Imperial; índices físicos; soluções ácidas.

ABSTRACT

It is presented in this paper an accelerated acid leaching study of two facies of the Imperial Brown granite, export and pink halo. After testing, it is observed an increase of porosity, which is directly associated with the immersion time, the type of leaching solution, and the attack mechanisms developed. Export facies, it is noted final porosity of 1.02% in HNO_3 and 1.05% $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{HNO}_3$, higher than the limit recommended by NBR 15844 (2010). The water absorption is shown to be directly associated with the increase in porosity for both facies. Aesthetic changes in the polished surfaces of the facies were observed in both materials, varying according to the period and the chemical nature of the leaching solution; The most significant changes were observed, for both facies, in the leaching with a $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{HNO}_3$ solution, for two periods of immersion of 30 and 60 days. It is noted formation of microcavities and evidences of microcracks in the cleavage planes forming parallel and anastomosing lines, far more evident in export facies. About the kinetics of leaching solutions, the data suggests the possibility of two mechanisms of chemical attack, one for dissolution and the other by oxido-reduction, which could be related to composition, texture, mineralogy and immersion time. Mass loss and brightness decrease occurred more pronounced in export facies, thus showing the least resistance to this facies to changeability processes.

Keywords: rock changeability; Imperial Brown; physical indexes; acidic solutions.

1. INTRODUÇÃO

Este artigo aborda o estudo comparativo de alterabilidade acelerada de duas fácies distintas do Sienito “Marrom Imperial”, muito utilizado em revestimentos, pisos e fachadas. Visa-se avaliar qualitativamente e quantitativamente o desempenho de placas lustradas, de cada uma das fácies estudadas, quando submetidas à ação de agentes intempéricos, simulados em laboratório pela ação de soluções livixiantes.

A litologia selecionada, o “granito” Marrom Imperial, ocorre no município de Bom Jardim, Estado de Pernambuco, e corresponde a um monzonito isotrópico com fenocristais feldspáticos zonados marrom-escuros de 1 a 2 cm de comprimento por 0,5 a 1 cm de largura, retangulares e arredondados, imersos em matriz de minerais máficos negros a negro-esverdeados (augita e hornblenda). Habitualmente, estes feldspatos apresentam microfissuramentos regelados e auréola peritítica composta por feldspatos róseos. Os minerais acessórios mais comuns são apatita, titanita, epidoto, clorita, pirita, allanita e zircão. As áreas do Marrom Imperial fazem parte de uma

fácies específica, especialmente mais restrita, de um mesmo corpo intrusivo, que ainda inclui outras variedades líticas: sienito quartzo álcali-feldspático e sienito álcali-feldspático lilás. Os dados petrográficos e geoquímicos são consistentes com produtos resultantes da fusão parcial do manto metamorfizado como ocorre habitualmente em domínios acima de zonas de subducção. As variações litológicas teriam evoluído a partir de um magma parental básico, similar em composição a um soshonito picrítico. Dentro de uma complexa diferenciação magmática, a fácies imperial Brown é subordinada e especialmente restrita. Apesar disto, outras fácies sieníticas deste Complexo Bom Jardim também são exploradas para fins ornamentais mais especificamente destinadas ao mercado interno brasileiro.

Assim como os demais materiais sujeitos a entropia, as rochas também envelhecem acarretando consequências indesejáveis decorrentes deste processo, tais como: perda de reflectância, arenização, produção de manchas, corrosões entre outras.

Diversos autores como Olgyay (1998), Petrucci (1998), Aires-Barros (2001) tem sinalizado para a existência de vários vetores que influenciam na alteração das rochas ornamentais como composição mineralógica e textural, a presença de microfissuramentos, porosidade e permeabilidade, além de fatores climáticos (temperatura, pluviometria, etc) e fatores antrópicos (industrialização, queima de combustível fóssil, etc). No entanto, a vulnerabilidade de qualquer litologia depende também da sua destinação e das condições locais de intemperismo a que esta estará submetida (Flain, 2002). A predição de quando o intemperismo terá afetado esteticamente, de forma visualmente perceptível, um produto lítico aplicado é a razão de ensaios de simulação em laboratório. Estes, embora não reproduzam todas as variáveis de um sistema intempérico natural, podem revelar as tendências previsíveis de alterabilidade da rocha.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Das fácies correspondentes ao Marrom Imperial, foram escolhidas as variações texturais aqui denominadas de fácies export, e fácies auréola rosa. Na fácies export não existe auréola envolvendo os fenocristais de K-feldspatos, e ocorre contato entre os fenocristais, além de que esta fácies apresenta participação maior em piroxênios (Figura 01). A fácies auréola rosa apresenta os cristais de K-feldspatos envolvidos por auréola de tons róseos densos, e um menor teor em piroxênios (Figura 02). De cada uma destas fácies foram produzidos corpos de prova com dimensões de 5x5x2cm.

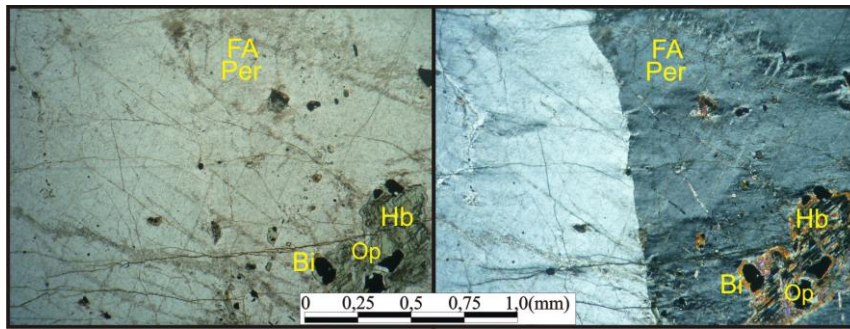


Figura 1. Fotomicrografia do Marrom Imperial; fácies export; nicóis paralelos (à esquerda) e nicóis cruzados – NX (à direita). Contato entre fenocristais de feldspatos potássicos.

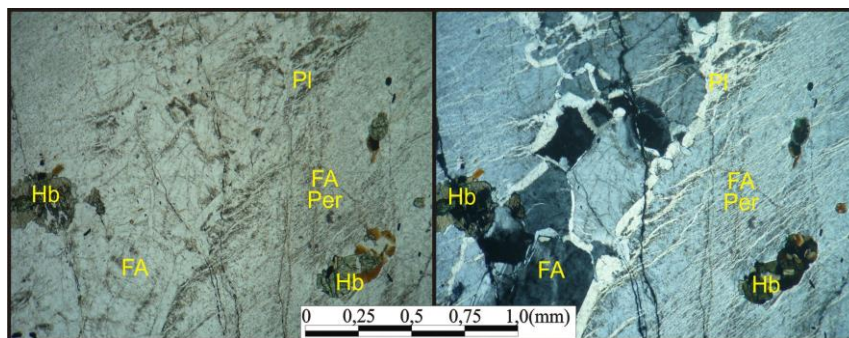


Figura 2. Fotomicrografia do Marrom Imperial fácies auréola rosa nicóis paralelos (à esquerda) e nicóis cruzados – NX (à direita). Contato de fenocristais contornados por auréola.

Conforme metodologia recomendadas por Frascá (2003) e Becerra-Becerra & Costa (2007), ensaios de lixiviação estática foram realizados por imersão total dos corpos de prova em soluções de H_2SO_4 0,0005 M, HNO_3 0,001 M, mistura de ácidos H_2SO_4/HNO_3 na proporção de 1:2 com concentração 0,001 M de íons H^+ e HCl 0,001 M. As soluções foram todas preparadas com água deionizada, com troca a cada 07 dias, para a manutenção de pH=3. Para cada fácies foram utilizados 12 corpos de prova que foram testados por prazos de 30 e 60 dias. Os padrões comparativos adotados foram aquelas das normas ASTM C-615 e NBR 15844 (2010), aplicados sobre amostra sãs e lixiviadas, sendo os resultados expressos por valores médios. Neste trabalho serão considerados os resultados de porosidade aparente, absorção aparente d'água. O controle da possível perda de massa sofrida pelo material foi efetuado a partir de comparação da massa do corpo de prova antes e após os ciclos de ensaio e realizada em balança analítica digital Shimadzu modelo Ay220, precisão de 4 casas decimais. O controle qualitativo das mudanças estéticas e desgastes visuais sofridos pelo material foram efetuados a partir da medida do brilho, utilizando-se equipamento Gloss Checker, modelo IG-330, e os resultados comparados com corpo de prova são, de cada uma das fácies.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Porosidade e absorção aparentes

Os fácies estudados atenderam às exigências físicas normativas (Tabela 1) para comercialização. No escopo destes resultados, a mais baixa massa específica aparente exibida pela fácies aureola rosa explicaria sua maior porosidade, tendência para uma maior absorção aparente.

Tabela 1 - Índices físicos das duas fácies do Marrom Imperial, em corpos de prova são.

Fácies	Export	Aureola Rosa	ASTM	NBR 15844
Massa específica aparente Kg/m ³	2.705	2.698	>2.560 Kg/m ³	2.500 Kg/m ³
Porosidade aparente	0,74	0,82	Não especificado	<1,0%
Absorção aparente	0,28	0,3	<0,4%	<0,4%

O comportamento das soluções ácidas lixiviantes sobre as fácies estudadas envolveu considerações sobre as composições mineralógicas, texturas petrográficas dos produtos, e questões relevantes às suas respectivas cinéticas reativas. Considerando-se um determinado parâmetro de avaliação (por exemplo, porosidade aparente) constata-se que sistematicamente níveis mais agressivos de alteração apresentam-se distintos para os diferentes tempos de imersão e para as diferentes soluções lixiviantes. Assim, para a fácies export, os maiores valores de porosidade observam-se nas soluções lixiviantes de H₂SO₄ e HCl, sugerindo, para este tempo de imersão, uma cinética de dissolução. À medida que o tempo de contato entre a solução lixiviante e corpo de prova aumenta para 60 dias, eleva-se também a possibilidade de contato da solução com áreas onde a composição mineralógica é mais heterogênea propiciando assim a predominância de um outro tipo de cinética de oxido-redução devido à formação de pilhas eletrolíticas, típica das soluções lixiviantes com poder oxido-redutor (soluções de HNO₃ e H₂SO₄/HNO₃). Os valores de porosidade aparente exibidos pela fácies export, para este período de imersão de 60 dias, foram de 1,02% em HNO₃ e 1,05% em H₂SO₄/HNO₃, ultrapassando assim o limite de 1%, recomendado pela NBR 15844 para rochas graníticas, conforme observado na tabela 2.

As porosidades finais da fácies auréola rosa, para o período de imersão de 60 dias, foram de 0,93% em HNO₃ e 0,97% em HCL, respectivamente, sendo, portanto, inferior a 1%, valor limite da NBR. Para o período de imersão de 30 dias, a fácies aureola rosa apresenta porosidade de 0,93% na solução lixiviante de HNO₃, apontando inicialmente para predomínio de cinética de oxido-redução, provavelmente em virtude da maior porosidade inicial desta fácies que facilita a

percolação da solução em áreas de composição mineralógica mais heterogênea, e consequente formação de pilhas. No entanto, o aumento do tempo de contato entre solução lixiviante e corpo de prova para 60 dias, para esta fácies, aponta predomínio de uma cinética de dissolução, esta provocada provavelmente pelo esgotamento das pilhas eletrolíticas, pelo consumo de seus eletrodos.

Tabela 2 - Porosidade aparente (%) do Marrom Imperial, após ataque por imersão em diferentes soluções ácidas

Fácies	H ₂ SO ₄	HNO ₃	HCL	H ₂ SO ₄ /HNO ₃	Períodos
Export	0,97	0,86	0,97	0,92	30 dias
	0,98	1,02	0,99	1,05	60 dias
Aureola Rosa	0,84	0,92	0,83	0,87	30 dias
	0,87	0,93	0,97	0,93	60 dias

Considerando-se os resultados ao termo de 60 dias de ataque ácido, os dados mostram que, sob quaisquer condições, a fácies export desenvolveu as maiores porosidades e absorção aparentes (Tabela 3). No entanto, praticamente em todos os tipos de ataque ácido, a fácies aureola rosa foi aquela que mostrou maior resistência à alterabilidade.

Tabela 3 - Absorção e Porosidade de duas fácies do Marrom Imperial sob diferentes soluções lixiviantes ao termino de 60 dias

Soluções	Absorção (%)	Porosidade (%)	Fácies
H ₂ SO ₄	0,36	0,98	Fácies export
	0,32	0,87	Fácies auréola rosa
HNO ₃	0,37	1,02	Fácies export
	0,34	0,93	Fácies auréola rosa
H ₂ SO ₄ / HNO ₃	0,39	1,05	Fácies export
	0,34	0,93	Fácies auréola rosa
HCl	0,37	0,99	Fácies export
	0,36	0,97	Fácies auréola rosa

3.2. Perda de massa

As perdas de massa desencadeadas a partir do ensaio de lixiviação estática, cujos resultados se observam na tabela 4, promoveram a desagregação de fragmentos dos corpos de prova, que, por sua vez, provocam o enfraquecimento da rocha, com consequente perda de partes, de modo a também atuarem sobre a porosidade, fazendo com que esta varie. No entanto, a variação de massa apresentada pelas fácies estudadas nem sempre foi acompanhada pelo aumento de porosidade, pois o local, as dimensões do grão, e o tipo de mineral que constitui o grão desagregado, são aspectos importantes e tem ação diferenciada sobre a porosidade. Em

relação à perda de massa, a fácies export apresenta-se também como aquela que maiores perdas de massa exibiu (Tabela 4).

Tabela 4 - Variação de massa de duas fácies do Imperial Brown após ataque por imersão em diferentes lixiviantes

Fácies	H ₂ SO ₄	HNO ₃	H ₂ SO ₄ /HNO ₃	HCL	Períodos
Fácies export	0,16g	0,10g	0,15g	0,27g	30 dias
	0,20g	0,24g	1,06g	0,77g	60 dias
Fácies auréola rosa	0,04g	0,05g	0,13g	0,06g	30 dias
	0,11g	0,08g	0,07g	0,57g	60 dias

3.3. Alterações estéticas

Alterações estéticas também foram evidenciadas em ambos as fácies, nos diferentes tempos de imersão, e nas diferentes soluções lixiviantes (figura 6), no entanto mais evidenciadas na fácies export. Modificações qualitativas como perda de brilho, via descoloração, aparecimento de rugosidade superficial, devido à lixiviação parcial de minerais constituintes, formação de microcavidades e evidências de microfissuras intergranulares nos planos de clivagens, formando linhas paralelas ou anastomosadas, estão bem evidenciadas na fácies export. Ensaio de imersão mais prolongados evidenciam maiores mudanças estéticas, em ambos os fácies.

As figuras 3 e 4 exibem modificações sofridas pelas fácies exportação e auréola rosa na solução lixivante H₂SO₄/HNO₃, onde se evidenciaram as maiores modificações estéticas.

Estas modificações estéticas poderão comprometer o uso desta fácies do Marrom Imperial se utilizado como revestimento externo, principalmente em ambientes susceptíveis à ação de soluções ácidas similares àquelas testadas neste estudo.



Figura 3 - Diferentes aspectos do Imperial Brown, fácies exportação, sob lixiviação de mistura $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$, desde rocha sã a condições de imersão por 30 e 60 dias



Figura 4 - Diferentes aspectos do Imperial Brown fácies auréola rosa, sob lixiviação da mistura $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{HNO}_3$, desde rocha sã, a condições de imersão por 30 e 60 dias.

Estas modificações estéticas poderão comprometer o uso desta fácies do Marrom Imperial se utilizado como revestimento externo, principalmente em ambientes susceptíveis à ação de soluções ácidas similares àquelas testadas neste estudo.

3.4. Alteração do brilho

As medidas de perda de brilho assinaladas nos corpos de prova da fácies estudada, sob diferentes ataques lixiviantes, após os ensaios de imersão total de 30 e 60 dias, encontram-se na tabela 5.

Tabela 5 - Perda de brilho de duas fácies do Imperial Brown, exportação e auréola rosa sob ataque de diferentes soluções lixiviantes, e em diferentes períodos de imersão.

		H_2SO_4	HNO_3	$\text{H}_2\text{SO}_4/\text{HNO}_3$	HCl
	Início	69,3	69,1	69,5	64,5
Fácies export	30dias	59,2	57,3	60,3	53,6
	60dias	42,2	48,4	54,8	37,6
	Início	66,3	64,6	65	61,8
Fáceis auréola rosa	30dias	60,7	58	61,5	49,5
	60dias	55,1	55,4	54,6	45,73

Com efeito, as perdas de brilho dependem do tempo de imersão e do tipo de ataque lixivante a que foram submetidas as fácies estudadas. As maiores perdas de brilho para ambos os fácies foram observadas no período de imersão de 60 dias (Tabelas 5). Embora haja diferença de

lustre apresentado por cada um dos corpos de prova, das fácies estudadas, observa-se que a gradação desta perda é constatável com o tempo. Os dados revelam que as maiores perdas de brilho ocorreram no período de imersão de 60 dias, e na solução lixiviante de HCl, para ambos os fácies. Alguns outros minerais, como os micáceos, não permitem um “fechamento completo” da superfície lustrada devido à estrutura placoide exibida por estes minerais, promovendo a formação de pequenas cavidades nas placas e, portanto, comprometendo o lustre.

4. CONCLUSÕES

Como já reconhecido na literatura, a composição mineralógica é fator preponderante na susceptibilidade de uma rocha ornamental à alteração. A clássica Série de Bowen, neste caso, ainda seria um dos melhores indicativos para este diagnóstico. No entanto, os resultados obtidos mostram que a textura petrográfica também é fator relevante, no sentido que a fácies export do Marrom Imperial, a despeito de bons índices físicos preliminares, mostra-se, no conjunto destes ensaios como a mais vulnerável, sob ataque ácido de quaisquer naturezas adotadas neste trabalho. Nesta fácies, os feldspatos não possuem auréola peritíticas ocorrendo ainda uma pequena maior participação de piroxênios, em sua composição modal, estes mais vulneráveis ao Intemperismo. Em contrapartida, na fácies auréola rosa, os feldspatos encontram-se envolvidos por auréola que provavelmente lhes confere maior resistência a processos de alterabilidade. Os dados obtidos também sinalizam a possibilidade da existência de dois mecanismos de ataque químico distintos que atuam diferentemente e estariam ligados ao tempo de imersão, as características de porosidade e textura apresentadas pelos fácies. Haveria portanto nestes ataques ácidos uma cinética de dissolução e outra de oxido-redução, que estariam presentes.

A performance exibida pelo fácies auréola rosa, a partir de corpos de prova antes e após ataques ácidos, colocam em causa avaliações tradicionais de qualificação de rochas para fins ornamentas, em termos de diagnóstico definitivo, uma vez que os dados destes parâmetros exibidos pela rocha não sempre evidenciam a tendência real da rocha aos processos de alterabilidade. A fácies export ao exibir valores de porosidade de 1,02% e 1,05% em HNO₃ e 1,05% em H₂SO₄/HNO₃ ultrapassando os valores recomendados pela NBR 15844, apontam fortemente para a necessidade de realização de estudo particularizado de alterabilidade, que poderão vir a indicar a tendência real do material pétreo.

A perda de massa sofrida pela fácies, nem sempre é acompanhada de aumento de porosidade indicando que outros fatores interferem de forma significativa na porosidade aparente, tais como demissões do grão, composição mineralógica do grão desagregado, entre outros.

As modificações estéticas provocadas pelos ataques ácidos e conseqüente perda de brilho acarretaram significativas modificações nos corpos de prova; notadamente na fácies export, compromete o uso deste como revestimento externo, principalmente em ambientes susceptíveis à ação de soluções ácidas similares àquelas testadas neste estudo. Assim, o resultados dos demais ensaios evidenciam a maior tendência desta fácies à deterioração.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRES-BARROS L., 2001. As rochas dos monumentos portugueses. Tipologia e patologias. Volume 1. Lisboa, *Instituto Português do Patrimônio Arquitetônico*, 590 p.

ABNT – NBR 15844 (2010);

ASTM – C - 615

BECERRA-BECERRA J. E., 2004. Alterabilidade de rochas com aplicação ornamental: procedimentos analíticos para avaliação. Belo Horizonte, *IGC-UFMG*, Dissertação Mestrado em Geol. Econ. Aplic., 117 p.

FLAIN E. P., 2002. Processos de assentamento de rochas ornamentais. Recife, *CETEM*, In: Anais III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 7 p.

FRASCÁ M. H. B. O., 2003. Estudos Experimentais de alteração Acelerada em rochas graníticas para revestimento. São Paulo, *Escola Politécnica/USP*, Tese Doutorado, 218 p.

OLGYAY V., 1998. Arquitetura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona, *Ed. Barcelona*, 203 p.

PETRUCCI, E. G. R., 1998. Materiais de Construção. São Paulo, *Ed. Globo*, 435 p. (11ª edição).

ESTUDO COMPARATIVO DE RESINAS PARA POLIMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS POR MODELAGEM MOLECULAR

*Fernanda Barbosa da Silva¹, Julio Cesar Guedes Correia², Alexandre N.M.Carauta³, Kelly Fernandes
Pessôa⁴, Letícia M. Prates⁵*

¹ Química Industrial/DSc, Centro de Tecnologia Mineral - CETEM

² Químico Industrial/DSc, Centro de Tecnologia Mineral - CETEM

³ Químico/DSc, Fundação Souza Marques - FTESM

⁴ Bacharel em Química, Centro de Tecnologia Mineral - CETEM

⁵ Bacharel em Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

jguedes@cetem.gov.br

RESUMO

As rochas ornamentais são extraídas como blocos e passam por processos de corte e etapas de beneficiamento com o objetivo de alterar suas características visuais e estruturais. A resina epóxi é o principal produto utilizado com a finalidade de polimento das rochas ornamentais, porém o seu elevado custo e toxicidade são desfavoráveis para sua aplicação industrial. A crescente preocupação com o meio ambiente e a busca por desenvolver produtos e tecnologias mais limpas vem contribuindo para um maior interesse na utilização de materiais oriundos de fontes renováveis. Sendo assim, os óleos vegetais surgem como boa alternativa na obtenção de polímeros/resinas com diversas aplicações. O presente trabalho teve como objetivo comparar a interação das resinas obtidas a partir do óleo de mamona, do cardanol e da resina epóxi com o mineral albita, componente das rochas ornamentais, por Modelagem Molecular. Os resultados obtidos são satisfatórios pois os ensaios computacionais mostraram que a estrutura das moléculas do óleo de mamona e do cardanol são capazes de interagir com a do mineral albita, e apresentaram capacidade de interação superior a da resina epóxi.

PALAVRAS-CHAVE: rochas ornamentais, resinas, modelagem molecular.

ABSTRACT

The ornamental stones are extracted as blocks and undergo cutting processing and beneficiation in order to change its visual and structural characteristics. The epoxy resin is the main product used for the purpose of polishing of ornamental stones, but its high cost and toxicity are unfavorable for industrial application. The growing concern for the environment and the search for developing cleaner products and technologies has contributed to an increased interest in the use of materials from renewable sources. Thus, vegetable oils arise as a good alternative in obtaining polymers / resins with various applications. This present research aimed to compare the interaction of resins derived from castor oil, cardanol and epoxy resin with albite mineral, component of ornamental stones, for Molecular Modeling. The results obtained are satisfactory because the computational studies have shown that the structure of cardanol and castor oil molecules are able to interact with the mineral albite and showed superior interaction capacity to the epoxy resin.

KEYWORDS: ornamental stones, resin, molecular modeling.

1. INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais englobam um grupo de rochas naturais extraídas como blocos ou placas que passam por processos de corte e etapas de beneficiamento com o objetivo de alterar suas características visuais e estruturais. Tais processos incluem polimento, lustro, apicoamento, entre outros. São utilizadas em diversos setores como em revestimentos internos e externos de edificações, incluindo-se pisos, azulejos, pilastras e fachadas bem como estátuas, estruturas funerárias, balcões e decoração de ambientes (LEITE & FUJACO, 2013).

Visando uma melhoria no desempenho e durabilidade das rochas ornamentais ao longo do tempo, as rochas são submetidas a um processo de resinagem, durante a etapa de beneficiamento. Esta técnica utiliza a aplicação de resinas como forma de eliminar algumas imperfeições, rachaduras e trincas presentes nas rochas (LOPES, 2003). O uso de resinas também visa proteger a superfície das rochas evitando manchas e retardando o processo de corrosão.

A resina deve se infiltrar por entre os poros presentes no granito para promover uma vedação, preenchendo, com isso, as cavidades e reforçando a estrutura da chapa de granito e

assim, reduzindo a adsorção de água. Grande parte das empresas no mundo utiliza como protetor as resinas epóxi (RACHELLE, 2009). Estas apresentam características adequadas para proteção de estruturas, tais como estabilidade térmica, elevada resistência mecânica e tenacidade, boa resistência química e a corrosão, além de propriedades térmicas, adesivas e elétricas (HERNÁNDEZ, 2010).

Grande parte das resinas epóxi é resultante da reação de condensação entre epicloridrina e grupos fenólicos. As mais comuns são derivadas da reação entre bisfenol A e epicloridrina, que são substâncias tóxicas e com elevado poder carcinogênico (LEITÃO, 2013).

A crescente preocupação com o meio ambiente e a busca por desenvolver produtos e tecnologias mais limpas com o propósito de se alcançar sustentabilidade abriram novas perspectivas ao desenvolvimento de pesquisas a partir de fontes renováveis.

A mamona (*Ricinus communis*) é uma planta encontrada em regiões tropicais e subtropicais, sendo abundante no Brasil. Apresenta grande potencial oleoquímico que pode fornecer polióis a partir de seus ácidos graxos (SILVA, 2006). O cardanol é um monofenol com uma cadeia alifática contendo quinze carbonos na posição meta. Esta longa cadeia carbônica é uma mistura de compostos saturados do tipo mono-, di- e tri-saturados, cujo grau de insaturação confere propriedades específicas ao composto, como por exemplo, facilidade em formar polímeros. Por ser um subproduto da indústria de castanha, o seu aproveitamento pode ser considerado uma inovação tecnológica (MAZZETTO *et al*, 2009). O óleo de mamona (Figura 1) e o cardanol (Figura 2) são compostos que podem interagir com minerais possibilitando o seu uso como protetivo.

A importância da resinagem para o setor industrial das rochas ornamentais motivou o estudo de novas técnicas capazes de compreender, a nível molecular, o processo de aderência dessas resinas, identificando os principais sítios ativos e o tipo de energia que melhor contribui para a interação entre o mineral e a resina e dessa forma, propor um produto mais adequado e com menor custo de produção.

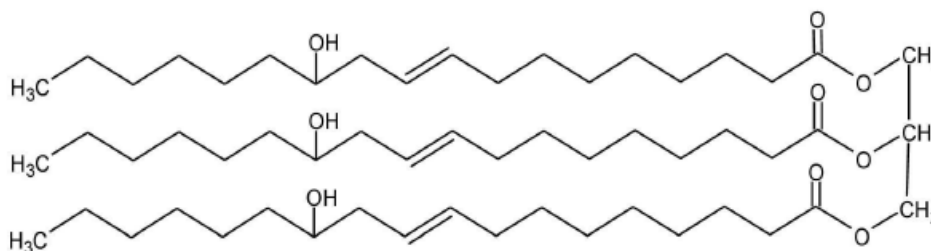


Figura 1 - Estrutura do Tri-ricinoleil glicerol do óleo de mamona (PEREIRA, 2010).

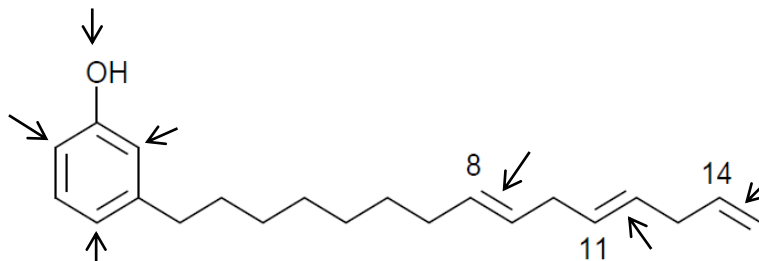


Figura 2 - Molécula do cardanol e seus sítios ativos (MOREIRA *et al*, 1998).

Neste contexto, a Modelagem Molecular apresenta-se como uma importante ferramenta capaz prever o comportamento das moléculas mediante o entendimento de sua estrutura, arranjo, movimento e interação nos sistemas reais. A principal vantagem da Modelagem Molecular é a redução do tempo e do custo em relação aos métodos experimentais já que, com o conhecimento de determinadas propriedades ou possíveis tendências, algumas etapas de bancada podem ser descartadas.

1.1 Objetivo

Este trabalho teve como objetivos utilizar o método de Modelagem Molecular para comparar o processo de interação das resinas obtidas a partir do óleo de mamona, do cardanol e da resina epóxi com o mineral albita, componente das rochas ornamentais, por Modelagem Molecular.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A modelagem das estruturas da resina epóxi, da mamona e do cardanol foram realizadas no software *Materials Visualizer*. Todos os softwares mencionados pertencem ao pacote de programas *Materials Studio* 4.3.0.0. A Figura 3 representa a metodologia empregada para definição da estrutura mais estável de cada molécula.

As estruturas que apresentaram menor valor energético foram selecionadas para avaliação da interação do sistema resina-albita.

O mineral albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), pertencente à família dos feldspatos plagioclásios, foi escolhido para a simulação de interação devido sua alta proporção encontrada na composição dos granitos. A estrutura deste mineral foi obtida através do banco de dados existente no programa *Materials Studio*.

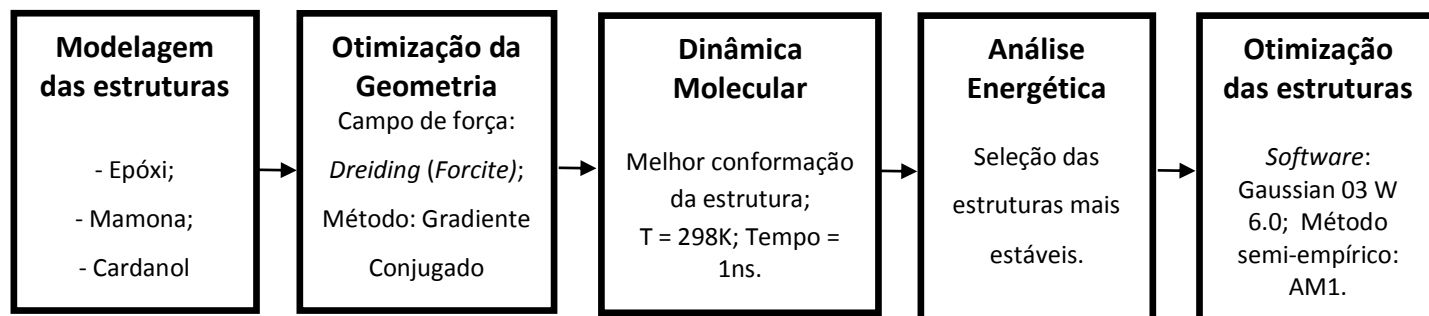


Figura 3 - Metodologia para obtenção da estrutura mais estável de cada resina.

Com a estrutura mais estável de cada resina e o mineral, foi elaborado um sistema em condições periódicas de contorno (PBC) para simular a interação dos sistemas albita-epóxi, albita-mamona e albita-cardanol. Estas interações foram otimizadas utilizando o campo de força *Dreiding* para posterior cálculo de dinâmica molecular.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de energia obtidos para os sistemas resina-albita são mostrados na Tabela 1. A energia de estabilização pôde ser calculada através da Equação 1.

$$\Delta E = E_{\text{ligado}} - E_{\text{não-ligado}} \quad (1)$$

Os valores encontrados para ΔE apenas indicam que as interações são favoráveis, podendo informar qual estrutura é a mais estável, mas não fornecem os valores realistas das energias de interação. Estes dados só são possíveis a partir de cálculos quânticos que estão em andamento.

Tabela 1. Diferença de energia de interação das resinas com a albita

Sistema resina-albita	ΔE (kcal/mol)
Albita-Epóxi	-486,51
Albita-Mamona	-1406,23
Albita-cardanol	-2083,83

O valor negativo é indicativo de estabilidade para a interação, visto que quanto mais negativa for esta energia, mais estável ou mais favorecida tende a ser esta interação. De acordo com os valores de energia encontrados na Tabela 1, As interações albíta-mamona e albíta-cardanol mostraram-se mais estáveis que a interação albíta-epóxi devido ao valor mais baixo dado pela diferença de energia do sistema ligado e não-ligado.

As Figuras 4, 5 e 6 apresentam, respectivamente, as interações das estruturas epóxi-albíta, mamona - albíta e cardanol -albíta obtidas após a otimização de geometria.

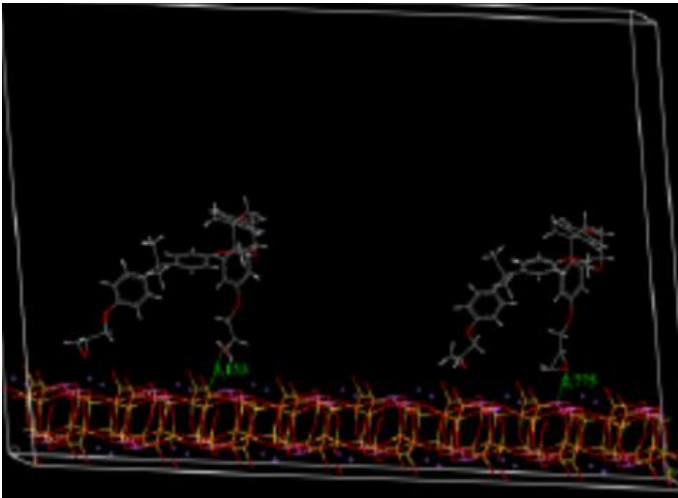


Figura 4 - Interação da epóxi - albíta

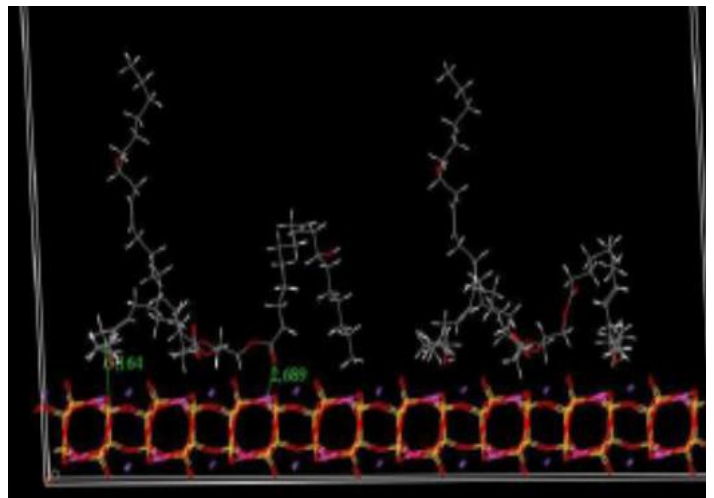


Figura 5 - Interação da mamona - albíta

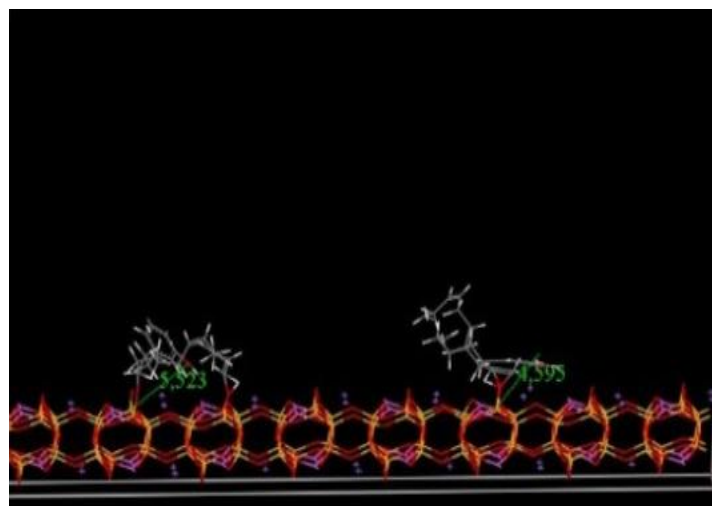


Figura 6 - Interação da resina cardanol – albíta

4. CONCLUSÕES

Os ensaios de Modelagem Molecular mostraram que as interações sugeridas com resinas oriundas de fonte renovável apresentam potencial para substituir a resina epóxi, atualmente comercializada. O conhecimento dos processos que levaram a esta interação é de extrema importância para o setor de Rochas Ornamentais, já que a partir da padronização do método pode-se progredir na criação de novos produtos, aprimorando as técnicas de resinagem. Ressalta-se que serão realizadas novas simulações e experimentos para melhor avaliação e conclusão.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HERNÁNDEZ, N. L. P. **Estudo e avaliação da aplicação do laser CO₂ na produção de resina epóxi em microreatores**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

LEITÃO, V. M. F. **Ecoabrasivo: uma nova perspectiva para o Setor de Rochas Ornamentais**. XXI Jornada de Iniciação Científica – CETEM, 2013.

LEITE, M. G. P.; FUJACO, M. A. G. **A atividade de beneficiamento de quartzitos na cidade de Ouro Preto-Brasil: características gerais e principais impactos ambientais**. Economía, Sociedad y Territorio, Cidade do México, vol. 13, n. 41, p. 227-243, jan. 2013.

LOPES, L., **Resinagem em Chapas de Granito**, Dissertação de Mestrado, Instituto de Química, UFCE, 2003.

MAZZETTO, S. E.; LOMONACO, D.; MELE, G. **Óleo da castanha de caju: oportunidades e desafios no contexto do desenvolvimento e sustentabilidade industrial**. Química Nova, 2009.

MOREIRA, L. F. B.; GONZÁLEZ, G.; e LUCAS, E. F. **Estudo da Interatividade entre Macromoléculas Asfáltênicas e Compostos Estabilizantes: LCC e Cardanol**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, 1998.

PEREIRA, P.H.L. **Estudo das propriedades físico-químicas da poliuretana derivada do óleo de mamona com potencial aplicação na área médica**. Dissertação da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

RACHELE, K.G.; RIBEIRO, R. C. C.; CORREIA, J.C.G.; COELHO, R.R. **Modelagem Molecular como Ferramenta de Avaliação do Pavimento Asfáltico**. XV Jornada de Iniciação Científica – CETEM, 2008.

SILVA, B. B.R. **Desenvolvimento de Adesivos de Poliuretano a Base de Óleo de Mamona**. 2006. 67p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Materiais da Escola de Engenharia da UFRGS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (Brasil).

ANÁLISE COLORIMÉTRICA DOS GRANITOS VERMELHO BRASÍLIA E VERMELHO VENTURA APÓS ATAQUE ÁCIDO.

Suely M. B. Silva¹, Felisbela M. C. Oliveira², Evenildo B. Melo³

¹Tecnóloga em Gás e Petróleo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, UFPE.

^{2,3}Docentes, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, UFPE.

suelymb@gmail.com

RESUMO

Em regiões urbanas que são próximas aos litorais há uma maior frequência de chuvas que aceleraram os processos de alteração na cor de rochas ornamentais em revestimentos externos. Para permitir suporte à resposta na mudança de cor dos granitos Vermelho Brasília e Vermelho Ventura, face à ação da chuva, foram realizadas pesquisas por meio de ensaios de alteração acelerada, medição colorimétrica e análise microscópica. Em amostras *in natura* destes granitos, foram determinados parâmetros de análise petrográfica e seu comportamento perante ataques químicos dos ácidos sulfúrico, nítrico, clorídrico e mistura do ácido sulfúrico e nítrico, objetivando a qualificação do material visando sua melhor finalidade de uso em ambientes externos susceptíveis a agressões da chuva ácida. Alterações na cor, devido a reações químicas ocorridas em alguns minerais, foram observadas macroscopicamente, por meio de fotografias e lupa digital. Minerais ferromagnesianos sofreram oxidação (cor avermelhada) e hidroxidação (cor amarelada a alaranjada) enquanto os feldspatos se tornaram mais claros e foscos. Para melhor identificar esta alteração, foram realizadas medições colorimétricas das amostras atacadas pelos vários ácidos, em intervalos de dez dias, através do espectrofotômetro *Color-Guide* da BYK, que permitiu quantificar as luminosidades e alterações da cor e brilho nas superfícies polidas dos granitos.

PALAVRAS CHAVE: Granitos Vermelhos; colorimetria; feldspatos; alterabilidade.

ABSTRACT

In urban regions that are close to coastlines there is a higher frequency of rainfall that accelerated the process change the color of ornamental rocks in external coatings. To allow advance

knowledge the answer on the color change of granite Red Brasília and Red Ventura, due to the action of rain, were searched through accelerated change tests with the colorimetric measurement. In fresh samples of these granites were determined parameters of petrographic analysis and behavior towards chemical attack of sulfuric, nitric, hydrochloric and mixture of sulfuric and nitric acid, in order to qualify the material aiming at its best purpose of outdoor use subject to attacks of acid rain. Changes in color due to chemical reactions occurring in some minerals, were observed macroscopically for photographs and digital magnifier. Ferromagnesian minerals suffered rust (reddish color) and hidroxidação (yellowish) while feldspars became clearer. To better quantify this change, colorimetric measurements of the samples were performed attacked by various acids, at intervals of 10 days, through the spectrophotometer Color-Guide of BYK, which allowed quantify the color change and gloss on polished surfaces of granite.

KEY WORDS: Red granites, colorimetry, feldspar, changeability

1. INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais, cujas características devem ser inalteráveis pelo tempo mais longo possível, devem apresentar, ao lado das funções estéticas, propriedades que facilitem seu aproveitamento e utilização otimizada. Quando usadas em ambientes externos, experimentam os processos de alteração com maior intensidade que aquelas colocadas em ambientes internos. A perda de brilho e alteração na cor são algumas das alterações geradas por condições adversas, frente à ação dos agentes intempéricos e poluentes atmosféricos do meio ambiente.

Os principais responsáveis pelo padrão cromático das rochas silicáticas são normalmente os feldspatos (microclinio, ortoclásio e plagioclásio), conferindo as colorações avermelhada, rosada e creme-acinzentado nos granitos homogêneos (isótopos) e orientados/movimentados (anisotrópicos) (FILHO, CHIODI, 2009).

O contraste de cor provocado por manchas de umidade, não raro associadas com os campos mais quartzosos, microfissurados, ocorre nos granitoides ornamentais que apresentam cores claras, similarmente às maiores variações de cor entre o estado seco e o estado úmido. Sendo assim, os granitos com minerais mais coloridos - vermelhos, marrons e verdes - não apresentam tão realçadamente as manchas quanto os granitos brancos e cinzas e os quartzitos, onde elas podem ser permanentes, ou podem desaparecer quando da evaporação da água (FIORETTI, 2007).

A ação de poluentes atmosféricos com o passar do tempo causa alterações que são traduzidas pela redução de brilho e também modificações, conforme a cor do mineral resultante da alteração da rocha. Nesse contexto foi possível simular esse processo por meio da execução de ensaios de ataque químico similarmente àqueles produzidos por substâncias presentes nos cenários urbanos afetados por chuva ácida.

Parte do espectro que é chamado de luz, são as ondas eletromagnéticas que são visíveis pelos seres humanos. Os comprimentos de onda da luz visível são extremamente pequenos expressando-se em milimícrons ($m\mu$), ou nanômetros (nm). Os comprimentos de onda são representados pela letra λ (lambda), que define quantitativamente a largura e a cor (PEDROSA, 2010). O olho humano pode ver o espectro na faixa aproximada de 400 a 700 nm. Essa faixa está ordenada abaixo em um exemplo típico do espectro visível representado em nanômetros na distribuição das cores descrita na tabela 1.

Tabela 1 – Comprimentos de onda em nanômetros emitidos pelas cores



Cor	Comprimento de onda
violeta	400-430 nm
azul	430-500 nm
verde	500-570 nm
amarelo	570-590 nm
Laranja	590-610 nm
vermelho	610-700 nm

A iluminação influencia diretamente na cor do objeto, apresentando mudanças significativas na cor quando expostas a diferentes fontes luminosas. O modelo de cor CIE foi desenvolvido para ser completamente independente de qualquer dispositivo e está baseado na percepção das cores pelo sistema visual humano. Os elementos-chave do modelo CIE são as definições padrão de iluminantes e as especificações para o observador padrão (LEÃO, 2005). O sistema CIE é um sistema quantitativo para medir, especificar e denotar as cores classificando-as de acordo com suas propriedades perceptivas (BERTOLINI, 2010). Em geral, as cores diferem entre si tanto em cromaticidade quanto em luminância, então a CIE recomendou o uso de um dos dois espaços de cor alternativos, CIELAB ou CIELUV, que incluem um fator de luminância em plano de cromaticidade (OLIVEIRA, 2006).

De acordo com Lopes (2009), o espaço CIELAB é composto por três eixos (figura 1). O vertical, que representa a luminosidade variando do nível zero (preto) a 100 (branco). O eixo a varia de +a (vermelho) até -a (verde), e o eixo b indo de +b (amarelo) ao -b (azul).

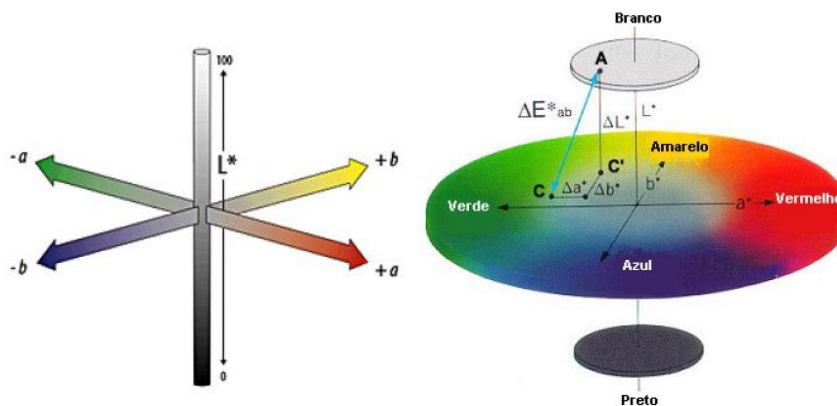


Figura 1 – Sistema CIE L*a*b*

Neste trabalho foram realizadas análises petrográficas que identificaram microscopicamente os constituintes minerais dos granitos Vermelho Brasília e Vermelho Ventura, e após ensaios de ataque químico foram submetidos a análises colorimétricas que apresentaram os resultados quantitativos da perda ou alteração da cor demonstrados através do espectrofotômetro, para assim, melhor avaliar a qualidade da rocha ornamental e sua utilização em revestimento externo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As placas *in natura* do Vermelho Brasília e Vermelho Ventura foram adquiridas em marmorarias no Recife. As lâminas delgadas destes materiais foram descritas ao microscópio sob luz polarizada; ensaios de alteração acelerada em laboratórios da UFPE.

Os ensaios de ataque químico têm por objetivo simular as agressões causadas ao material pétreo pela chuva ácida, decorrente dos poluentes atmosféricos. O método adotado foi baseado no ensaio de alterabilidade por imersão em líquidos reativos do IPT (Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo) e recomendado por Frascá (2003). Foram aplicados na superfície polida de 4 corpos-de-prova, no tamanho de 10 x 10 x 2 cm, dos granitos Vermelho Brasília(VB) e granito Vermelho Ventura(VV), soluções de ácidos sulfúrico, nítrico, clorídrico e a mistura de ácidos sulfúrico-nítrico, através de uma pipeta de 1 ml para cada ácido, espalhado com um pincel exclusivo (para cada ácido) e deixados para secar em temperatura ambiente. Este procedimento foi repetido durante 60 dias consecutivos. As concentrações das soluções ácidas utilizadas no

ataque químico são diluídas em até pH=3, seguindo os percentuais estabelecidos e numerados de acordo com cada ácido, conforme tabela 1.

Tabela 1 – Amostras numeradas, ácidos e concentrações utilizadas.

Amostras	Soluções	Concentrações (%)
VB 1 e VV 1	Ácido sulfúrico	0,001
VB 2 e VV 2	Ácido clorídrico	0,001
VB 3 e VV 3	Ácido nítrico	0,001
VB 4 e VV 4	Ácido sulfúrico + nítrico	0,0005+0,0005

Nos mesmos períodos dos ensaios de ataque químico ao Vermelho Brasília e Vermelho Ventura foram realizadas medições de cor e brilho, sobre as amostras, através do aparelho *Color-Guide* da BYK, para quantificar as alterações de cor causadas pela ação dos ácidos através dos parâmetros colorimétricos de variação $L^*a^*b^*$. Os procedimentos adotados utilizam o sistema de coordenadas retangulares $L^*a^*b^*$ definido em 1976 pela *Comission International e do IE Clairage* (CIE). O equipamento utilizado para medições segue um banco de dados padrão do sistema de cores CIELab-D65/10º previamente instalado além de normas e leis específicas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise Petrográfica

Estas análises visam conhecer as características petrográficas e mineralógicas de rochas, por meio de técnicas que permitem identificar a composição mineralógica, sua textura, estado de alteração dos minerais, estrutura, bem como o grau e o tipo de microfissuração (FRAZÃO, 2002).

Na visão microscópica os minerais ferromagnesianos totalizam cerca de 20% do volume da rocha no granito Vermelho Ventura (VV) e 12% no Vermelho Brasília (VB), tendo menos de 1% de opacos presentes em ambos os granitos que variam desde (0,250mm x 0,500mm) a (0,150mm x 0,200mm), com destaque em 17% para as biotitas (1,000mm x 1,200mm) no VV e 11% no VB, inclusive cloritizadas e subsidiariamente, as hornblendas (3% em VV e 1% em VB) constituem os menores cristais dentre os máficos (0,300mm x 0,375mm) a (0,750mm x 0,750mm). A composição magnésiana dos minerais máficos é expressa pela cor esverdeada, mais frequente, inclusive com

variação de tonalidades (pleocroísmo), principalmente em anfibólios, embora também presente nas micas.

As biotitas magnesianas ou ferríferas, às vezes, expressam tênue foliação, sem indício de deformação frágil a rúptil. A maior presença de minerais ferro-magnesianos no granito Vermelho Ventura explica maior potencial de oxidação que o granito Vermelho Brasília. A composição ferrífera, aparentemente um pouco subordinada, materializa-se nos cristais pelas tonalidades de cor marrom clara a escura avermelhada.

Os plagioclásios constituem 18% para VV e 15% para VB do volume da rocha e, juntamente com os ferromagnesianos, são os minerais essenciais mais cedo-cristalizados, o que lhes confere automorfismo, ou forma própria. Os oligoclásios em ambas as amostras, possuem dimensões médias de 0,250mm x 0,150mm, alcançando até 1,175mm x 1,250mm, cujos indivíduos são geminados segundo as leis tipos albita-carlsbad e albita. O feldspato potássico microclínico ocupa 55% do volume da rocha no granito VB e 50% no VV, com tamanho supracentimétrico, constituindo agregados cristalinos de indivíduos quase centimétricos, caracterizados pela geminação cruzada.

A composição mais sódica dos plagioclásios oligoclásicos (cerca de $Ab_{87}An_{13}$) em ambas as amostras, da ordem de 13% de anortita, que parece harmonizar-se com a extensiva alcalinização do ambiente magmático, que resulta no predomínio e tardicristalização do feldspato potássico microclínico, com tamanho supracentimétrico, não raro constituindo agregados cristalinos de indivíduos quase centimétricos.

Há indícios de saussurita (epidoto mais carbonato) e carbonatação em alguns plagioclásios, dado que deve repercutir no brilho mais homogêneo e cintilância localizada após o polimento da chapa. O quartzo, com 12% no Vermelho Ventura e 18% no Vermelho Brasília, composição média do volume de cada rocha, diferencia-se pela granulometria máxima de centímetro. Sua presença se repercute na possibilidade de microfissuramento e absorção de umidade da rocha.

3.2. Medição Colorimétrica

A medição de cor estima as diferentes coordenadas colorimétricas (ΔE^*). Estas medições realizadas sobre as amostras têm por objetivo avaliar as possíveis alterações ocorridas na superfície dos corpos-de-prova (variação do brilho e cor). Realizados os ataques químicos, foram

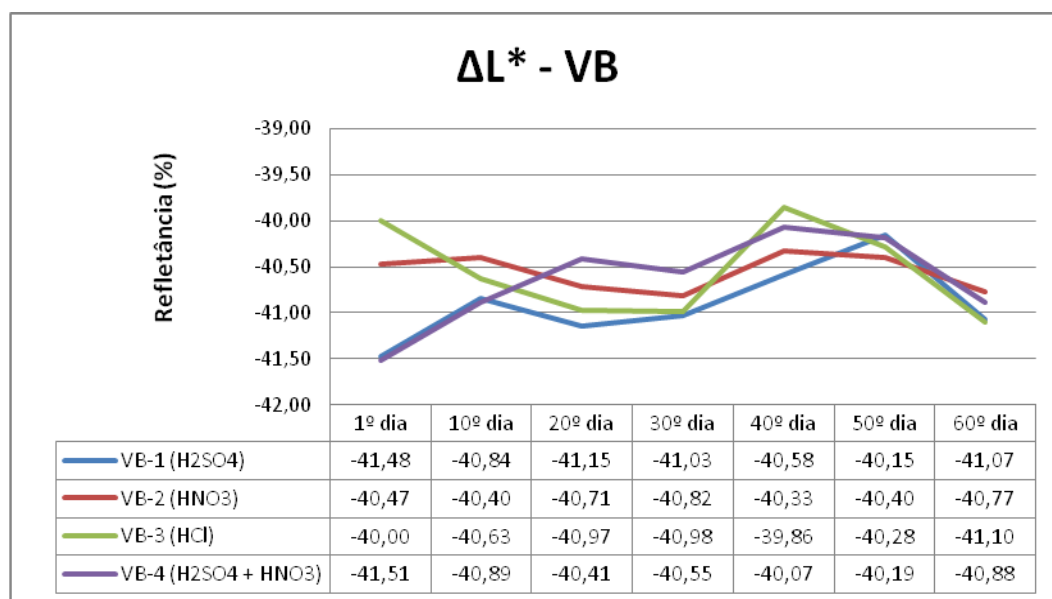
analisadas com o auxílio do espectrofotômetro, em 20 pontos sobre a superfície polida de cada amostra, medições de cor e brilho em intervalos a cada cinco dias.

Como as rochas estudadas apresentam heterogeneidade cromática devido a sua diversidade mineralógica, a medição da cor foi avaliada através da média de seus pontos monitorados pelo espectrofotômetro para se obter a cor predominante e sua alteração diante dos ataques químicos. O espectrofotômetro mede a refletância (luminosidade) da cor em função do respectivo comprimento de onda. Esta avaliação colorimétrica é simbolizada por gráficos que identificam a predominância da cor. Os picos mais altos no gráfico traduzem o clareamento da cor e aqueles mais baixos traduzem o escurecimento da cor.

Após o ataque químico, a alteração ocorrida nos minerais ocasionou mudança na cor da rocha. Sua cor foi alterada gradativamente para um tom mais claro ou mais escuro, relativamente à coloração, função do tipo do reagente.

Abaixo se tem o gráfico 01, referente à luminosidade (L^*) em função dos períodos de ataque da amostra do granito Vermelho Brasília e as várias soluções correspondentes.

Gráfico 01 - Luminosidade das amostras Vermelho Brasília, após ataques químicos.



Assim, a variação do parâmetro L^* indica que, para o ácido sulfúrico (VB-1) e mistura de ácidos (VB-4), há um aumento deste valor, indicando que há clareamento do material. Enquanto que nos casos correspondentes aos ácidos nítrico (VB-2) e clorídrico (VB-3), há diminuição de L^* , apontando que a amostra mudou para uma cor mais escura.

Para melhor entendimento do gráfico 01, relacionaram-se os valores iniciais (sem ataque químico) aos valores finais de L^* (após 60 dias de ataque químico) medidos nas amostras sob a ação de

cada reagente. A tabela 2 mostra os resultados das diferenças de L^* , sem ataque e com ataque químico: valores positivos demonstram clareamento da cor, negativos apontam para escurecimento.

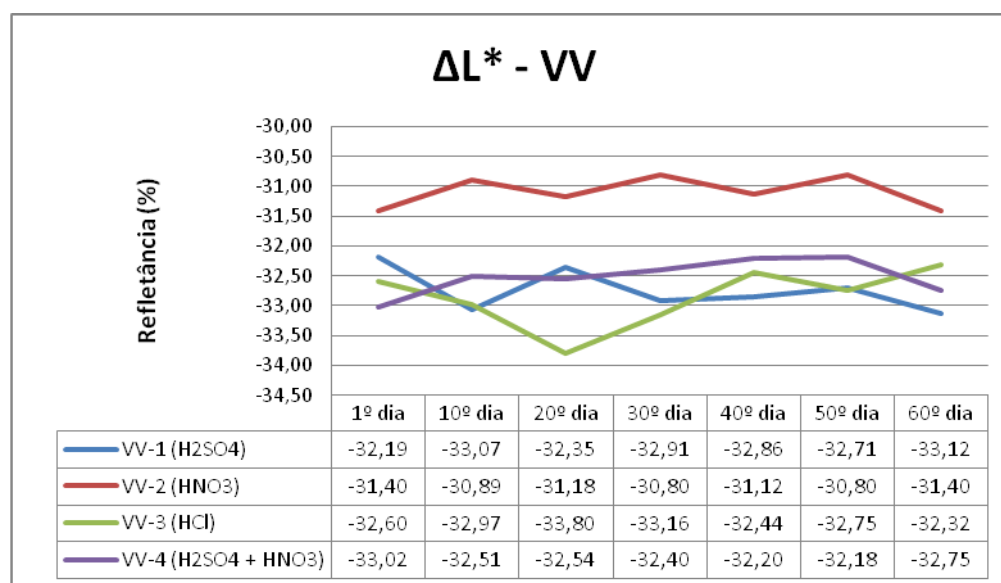
Tabela 2 – Vermelho Brasília (VB): diferença de L^* a 60 dias menos L^* na fase inicial

Amostras e soluções	Diferença (%) luminosidade	Estado da cor
VB-1 (H_2SO_4)	0,41	Mais clara
VB-2 (HNO_3)	-0,31	Mais escura
VB-3 (HCl)	-0,69	Mais escura
VB-4 ($H_2SO_4+HNO_3$)	0,63	Mais clara

O gráfico 02 descreve o comportamento do Vermelho Ventura com relação à mudança de cor. Houve um pequeno aumento do parâmetro L^* , após os 60 dias de ataque, sob a ação do ácido clorídrico (VV-3) e a mistura de ácidos sulfúrico e nítrico (VV-4), o que é traduzido pelo clareamento na cor vermelha, ou maior presença de material resultante da oxidação de substância com conteúdo ferrífero. O ácido sulfúrico escureceu a amostra, enquanto houve pouca variação com o ácido nítrico permanecendo a mesma tonalidade inicial do material.

Devido ao ataque químico, os feldspatos apresentam cor mais esmaecida, fruto da alteração destes minerais (KOH , KNO_3), o que corrobora para a coloração mais clara. Por outro lado, algumas reações químicas levam o ferro de alguns minerais máficos a se hidroxidarem ou oxidarem, deixando a rocha mais escura, amarela, alaranjada ou avermelhada.

Gráfico 02 - Luminosidade das amostras Vermelho Ventura, após ataques químicos.



A tabela 3 mostra os resultados das diferenças de L^* , sem ataque e com ataque químico do Vermelho Ventura. A amostra VV-2 não apresenta diferença de L^* , o que sugere que não houve mudança da tonalidade inicial do litotipo.

Tabela 3 - Vermelho Ventura: diferença de L^* a 60 dias menos L^* na fase inicial

Amostras e soluções	Diferença (%) luminosidade	Estado da cor
VV-1 (H_2SO_4)	-0,93	Mais escura
VV-2 (HNO_3)	0,00	Sem alteração
VV-3 (HCL)	0,28	Mais clara
VV-4 ($H_2SO_4+HNO_3$)	0,27	Mais clara

Os granitos estudados apresentam em sua composição mineralógica 75% de feldspatos potássicos, com cristais de 2 a 5 cm; 10% de minerais escuros cujos cristais possuem granulometria milimétrica, com agregados de 2 mm, mais raramente de 5 mm; e 15 % de quartzo com grãos entre 5 mm e 10 mm; além de discretos cristais de plagioclásios de tamanho milimétrico. Desta forma, sendo predominantes os minerais de cor rósea (sem conteúdo em ferro), os produtos de alteração dos cristais de feldspatos potássico, mais dominante que os demais minerais, devem ser mais interferentes na cor mais pálida.

Figura 3- VB 1 em fase inicial, 40 e 60 dias após ataque com ácido sulfúrico.

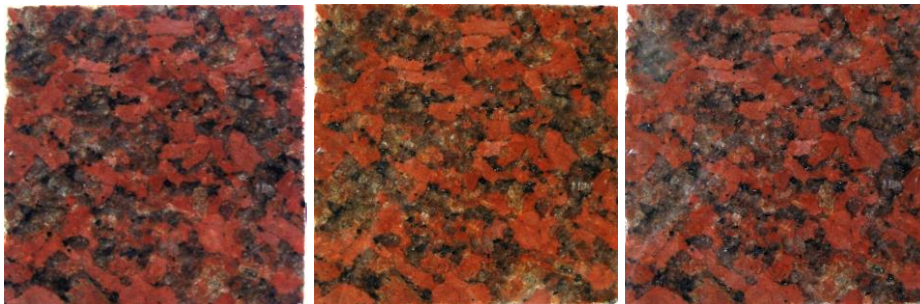
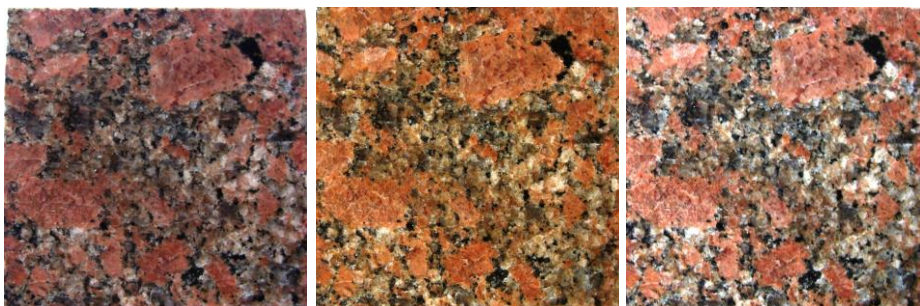


Figura 4 - VV 1 em fase inicial, 40 e 60 dias após ataque com ácido sulfúrico



Os compostos formados, decorrentes das reações das várias soluções com os minerais essenciais, são principalmente de potássio, sódio, cálcio, elementos mais móveis nas soluções, e alumínio. Analogamente aos de potássio (KOH, KNO_3 , K_2SO_4 , KCl) resultarão hidróxidos mais sulfatos, nitratos e cloretos, de acordo com o ácido utilizado no ataque (PERUZZO, 1999). Esses produtos apresentam cor clara ou são brancos. Por fim, o ataque nas porções com minerais escuros, ricos em ferro, resultará em compostos com cores amareladas a alaranjadas (figuras 3 e 4).

Apesar desses experimentos não terem ocorrido em câmara de climatização, pode-se considerar a afirmação de Bessa (2007) segundo a qual, após 40 ciclos de ataque em câmara climática, o ácido sulfúrico produzido, ataca os minerais constituintes da rocha, especialmente os ferromagnesianos de onde retira principalmente o ferro. A solução ácida que contém este elemento provoca manchas nos minerais mais claros como os feldspatos que passam a exibir uma coloração castanho-amarelada. Essa mancha amarelada pode ser provocada pela circulação de soluções contendo íons ferromagnesianos entre os poros da rocha, seguido de evaporação da fase líquida e deposição dos íons nos vazios, promovendo o mesmo tipo de coloração. Ainda de acordo com Bessa, o aumento do número de ciclos de ataque (80 ciclos) induz a lixiviação dessas substâncias que são carregadas *per descensum*, para as superfícies inferiores das amostras onde se depositam formando concentrações escuras ferruginosas. As substâncias mobilizadas pela solução ácida produzida (íons e micro-partículas) podem, por um lado, promover a abertura de alguns dos micro-poros existentes e, por outro, fazer a colmatação desses poros, justificando desse modo o comportamento que se observa em casos concretos de manchas em granitos expostos em edificações.

4. CONCLUSÃO

Características tais como petrografia e colorimetria são extremamente importantes na adequação do material pétreo ao seu uso. As características de ambos litotipos se assemelham pelo tamanho dos cristais de K-feldspato róseo com textura heterogranular, entretanto no granito Vermelho Ventura há maior variedade textural, com grãos mais finos, existindo maior chance de continuidade do microfissuramento dos pequenos cristais de quartzo, e, portanto maior absorção de umidade que o Vermelho Brasília.

A chuva ácida é um dos principais agentes de agressão formadores de patologias em revestimentos externos, sendo seus impactos negativos manifestados pela corrosão, causando a

perda de brilho e alteração na cor das rochas ornamentais. Na avaliação prática do sistema de gerenciamento de cor e brilho, utilizado nos granitos Vermelhos Brasília e Vermelho Ventura, confirmam-se esses comportamentos de mudanças frente às soluções ácidas *versus* período de ataque, como escurecimento ou clareamento da cor. Comparando os dois granitos, aquele que apresentou maior susceptibilidade à alteração foi o granito Vermelho Ventura, pois contém em sua composição mineralógica maior quantidade de minerais escuros e maior variedade textural, com grãos mais finos, que repercutem na alterabilidade das demais espécies minerais por absorção de umidade. No entanto, a oxidação dos minerais ferromagnesianos, não repercute tanto na aparência visual, devido ao predomínio da coloração vermelha da rocha.

O clareamento da cor e a perda de brilho nos granitos vermelhos foram os aspectos de alteração mais relevantes, porém pouco perceptíveis, constatando que ambos os materiais, Vermelho Brasília e Vermelho Ventura, quando expostos à ação de intempéries, não exibem perda significativa do brilho original. Por fim, os diversos ensaios realizados demonstram claramente que os granitos vermelhos são tecnologicamente considerados rochas de boa qualidade, e que podem ser utilizados como material de revestimento para uso interno ou externo na indústria de construção civil.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT NBR 15845. **Rochas para revestimento – Métodos de Ensaio. ANEXO A** (normativo) Análise Petrográfica. 2010.
- BERTOLINI, C. **Sistema para Medição de Cores Utilizando Espectrofotômetro**, TCC Ciências da Computação da Universidade Regional de Blumenau, 2010.
- BESSA, M. F.; TORQUATO, C. F. & TORQUATO, J. R. F. **Utilização da Metodologia “Análise de Imagem” no Estudo de Rochas Ornamentais**. Revista de Geologia, Vol.20, nº 1, 65-81. Fortaleza, 2007.
- FILHO, Cid C. e CHIOLDI, Denize K.; Relatório Técnico 33 – Perfil de Rochas Ornamentais e de Revestimento. São Paulo, 2009.
- FIORETTI, G. B.; **Influência do Tipo de Rocha do Manchamento frente à Umidade de Revestimentos Pétreos**. Monografia como requisito para obtenção do título de Engenheira Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

FRASCÁ, M. H. B. O. **Estudos Experimentais de alteração acelerada em Rochas Graníticas para Revestimento**. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia), Universidade de São Paulo, 2003.

LEÃO, ALEXANDRE C. – **Gerenciamento de Cores para Imagens Digitais**. Dissertação (Mestre em Artes Visuais), UFMG Belo Horizonte, 2005.

OLIVEIRA, DANIELLE F. – **Confiabilidade Metrológica e Validação de Procedimentos Espectrodiométricos para Medição de Fontes Luminosas**, Dissertação (mestre em Metrologia para Qualidade e Inovação) PUC - Rio 2006.

PEDROSA, Israel. **Da cor à cor inexistente**. Rio de Janeiro, 2010.

PERUZZO, Francisco M., CANTO, Eduardo L. do; **Química na abordagem do cotidiano**. Volume 1, Editora Moderna, 1999.

SILVA, Suely M. B.; **Estudo das Características Petrográficas, Mecânicas e Colorimétricas dos “granitos” Vermelho Brasília e Vermelho Ventura**. Dissertação (Mestre em Engenharia Mineral), UFPE - Recife, 2014.

O TECTONISMO NEOPROTEROZOICO E A FORMAÇÃO DOS JAZIMENTOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

Ruben Sardou Filho ¹, *Gerson M. Matos* ², *Vanildo Almeida Mendes* ³, *Edgar R. H. de Figueiredo Iza* ⁴.

¹ Geólogo, CPRM/SUREG-SA

² Geólogo, CPRM/SUREG-RO

³ Geólogo, CPRM/SUREG-RE

⁴ Geólogo, CPRM/SUREG-RO

vanildo.mendes@cprm.gov.br

RESUMO

O trabalho ora apresentado versa sobre o contexto geotectônico do Estado do Espírito Santo e a sua influência na origem, tipologia e posicionamento cronológico dos jazimentos de rochas ornamentais, aflorantes em seu escudo Pré-cambriano. O embasamento cristalino capixaba apresenta uma história geológica que se estende do Paleoproterozoica ao Recente, incluindo eventos datados do Neoproterozoico, tais como a Faixa Dobrada Araçuai e as suítes plutônicas de caráter granítico, com idades e natureza composicional diversas atestando a existência de distintos eventos magmáticos ao longo da sua evolução orogênica. A consequência da ação destes eventos tectono-magmáticos resultou em uma geodiversidade extremamente favorável a formação de excelentes jazimentos de rochas ornamentais, cuja exploração e industrialização constituem hoje um dos pilares da economia deste estado.

PALAVRAS-CHAVE: geotectônico, rocha ornamental, gabro.

ABSTRACT

The work presented deals with the geotectonic context of the Espírito Santo State and its influence in the origin, typology and chronological placement of the dimension stones deposits that outcrop in your Precambrian shield. The crystalline basement of the Espírito Santo State has a geological history that extends from the Paleoproterozoic to Recent , including events dated from

the Neoproterozoic, such as the Strip folded Araçuaí and the plutonic suites of granitic character, with different ages and compositional nature attesting to the existence of distinct magmatic events along its orogenetic evolution. The result of the action of these tectonic and magmatic events resulted in an extremely favorable geodiversity the formation of deposits of dimension stones, whose exploitation and industrialization is today one of the pillars of this state's economy.

KEYWORDS: geotectonic, dimension stone, gabbro.

1. INTRODUÇÃO

O Estado do Espírito Santo (Figura 1) situa-se na região sudeste do Brasil e apresenta uma geodiversidade extremamente favorável a existência de jazimentos de rochas ornamentais incluindo tipos considerados nobres de reconhecida aceitação no mercado internacional de produtos pétreos, além de materiais considerados comuns de larga aplicação como revestimento na construção civil.



Figura 1 - Mapa de localização do Estado do Espírito Santo

Em termos tectono-estrutural o território estadual acha-se inserido no Sistema Orogênico Mantiqueira (Almeida, 1977), Orógeno Araçuaí (Pedrosa – Soares *et. al.*, 2001) o qual constitui uma entidade geotectônica de idade neoproterozoica estruturada na direção NNW – SSE, bordejando a porção leste do Craton do São Francisco (Figura 2). Esta entidade é constituída por

um cinturão de rochas metamórficas, dobradas e em parte migmatizadas, incluindo suítes granitoides de idades e natureza composicional diversa, atestando distintos eventos magmáticos ao longo de sua evolução orogenética.



Figura 2 - Sistema Orogênico Mantiqueira há 500 Ma (extraído de Silva *et al.*, 2005)

2. CONTEXTO GEOTECTÔNICO

O embasamento cristalino capixaba encerra uma história geológica que se estende do Paleoproterozoico ao Recente, incluindo eventos neoproterozoicos relacionados à Orogênese Brasileira e posteriormente afetados durante o Fanerozoico, quando da formação das coberturas sedimentares cenozoicas. Em termos tectônicos o “*interland*” estadual é subdividido nos seguintes compartimentos: fragmentos de crosta inferior, rochas do Orógeno Araçuaí e das suítes intrusivas relacionadas ao arco Rio Doce, capeadas em parte pelas coberturas de idade Fanerozoica disposta na sua porção leste.

Relacionados aos eventos datados do Neoproterozoico tem-se como rochas mais antigas os paragnaisses e os gnaisses movimentados de coloração amarelo dourada, os quais compõem o Complexo Nova Venécia (Foto 1), constituídos por silimanita-granada-cordierita gnaisses bandados bem foliados, contendo intercalações calcissilicáticas, quartzíticas e anfibolíticas. São formados

por níveis escuros apresentando biotita, cordierita e granada em alternância com leitos ricos em minerais félsicos de composição quartzito-feldspática. Nas zonas migmatizadas ocorrem transposição de estruturas estromáticas para núcleos mais homogêneos, diatexíticos.



Foto 1 - Aspecto da mina do “Granito *Blue Brasil*” lavrado a partir de paragneisses do Complexo Nova Venécia (município de Rio Bananal. Fonte: Baltazar *et al*, 2010).

No Estado do Espírito Santo, a granitogênese associada ao Orógeno Araçuaí está representada pelos seguintes estágios orogênicos: pré-orogênico, pré- a sin-orogênico, Sin - a Tardi-orogênico, Tardi-orogênico e pós-orogênico. No que concerne às rochas graníticas relacionadas ao estágio pré- a sin-orogênico do ciclo Brasileiro, as unidades intrusivas presentes no embasamento estão representadas por rochas das suítes Carlos Chagas, Ataléia, Montanha, compostas por granitos resultantes de fusão parcial. As três primeiras suítes são relacionadas a um magmatismo do tipo S, sincolisional em regime compressional, enquanto a Suíte Aimorés é relacionada a um plutonismo tipo I, pós-orogênico, ligado a uma tectônica extensional.

A Suíte Carlos Chagas (Foto 2), relacionada ao plutonismo tardi-orogênico, constitui a principal fornecedora de granitos da linha branca e amarela do território capixaba. Formada por leucogranitóides pouco foliados, peraluminosos a calcioalcalinos de alto K, inclui tipos de textura porfirítica e equigranular, além de corpos da Suíte Montanha, interpretados como sendo corpos de granitos enriquecidos em minerais máficos, especificamente biotita, e de biotita-granada granito indeformado. É constituída por rochas de composição predominantemente granítica a sienogranítica e mais raramente monzogranítica, sendo comum à presença de enclaves ricos em biotita com dimensões variando de centimétricas a decimétricas. Compreende rochas de cor branca a cinza – esbranquiçada, e granulação média a grossa, apresentando foliação milonítica em várias exposições, realçada pelo alinhamento da biotita, que aparece formando delgados níveis

descontínuos. Sua mineralogia inclui quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio, contendo biotita e granada como principais minerais acessórios.



Foto 2 - Aspecto da foliação milonítica em granada-biotita granito da Suíte Carlos.

Associados a esta unidade geológica têm-se os jazimentos dos granitos comercialmente conhecidos como: Branco Dallas, Icará light, Branco Marfim, Branco Samoa, dentre os granitos da linha branca e os denominados Amarelo ornamental, Ouro Brasil, Giallo Vitória, Giallo Napoleone correspondente às rochas de tonalidade amarela.

Regionalmente a Suíte Carlos Chagas constitui uma unidade muito extensa e relativamente homogênea em termos composicionais. Em zonas não deformadas uma proeminente foliação de fluxo magmático é ressaltada pelos alinhamentos dos grandes cristais subédricos de feldspatos. Em afloramento constata-se a presença de restitos de grandes proporções de biotita gnaisses finos, cujas porções mais homogêneas da mistura dos mesmos, com os leucogranitos intrusivos, são explotadas como granitos movimentados ou exóticos alguns de coloração amarela como o denominando Granito Yellow River.

Os plutonitos da Suíte Ataléia compreendem rochas mesocráticas, formadas por tonalitos a granodioritos. Em termos litoquímicos apresentam caráter peraluminoso, sendo interpretada como produto anatético, originado de fusões parciais em níveis crustais profundos. No geral mostram coloração cinza clara a cinza mediana, com granulação fina a média, com tipos porfiríticos subordinados. Apresentam foliação milonítica nas áreas deformadas e aspecto homogêneo e maciço no restante das áreas de exposição da unidade. As rochas desta suíte são

fontes potenciais para granitos cinza e bege, mas no momento não estão sendo alvo de exploração pelas mineradoras.

As rochas da Suíte Intrusiva Aimorés de caráter pós-tectônico ao Brasileiro estão basicamente representadas por charnockitos esverdeados da unidade Charnockito Padre Paraíso contendo gabros, enderbitos e noritos pretos a cinza-escuro, dos maciços Aracruz, Ibituba e Itapina, os quais mostram, em campo, consanguineidade com granitos de caráter calcioalcalino, porfiríticos, de coloração cinza a rosada. Dentre as maiores exposições de rochas da Suíte Aimorés, salientam-se as grandes intrusões de Barra de São Francisco e Alto Mutum. Associada a estas intrusões tem-se a exploração do charnockito verde, cujo diferencial em relação aos plutonitos da região de Alto Mutum é a presença de granada.

As rochas de composição charnockíticas apresentam coloração verde oliva a cinza-esverdeada, com textura inequigranular a porfirítica e granulação grossa. Estes maciços charnockíticos se destacam pela frequência, homogeneidade e dimensões, caracterizando-se pela exposição das rochas em grandes paredes nas vertentes e no topo das elevações.

Parte dos litotipos desta unidade apresentam texturas magmáticas parcialmente recristalizadas formando mosaicos granoblásticos de excelente efeito estético. Estas feições estruturais são resultado em parte dos próprios mecanismos de intrusão podendo também resultar de uma tectônica tardia de caráter transtensivo de antigas descontinuidades estruturais, que provavelmente foram responsáveis pela colocação dos plutonitos desta unidade.

Ainda associados a esta suíte tem-se intrusões de granitos porfiríticos de coloração cinza clara a bege até levemente rosada, com granulação média a grossa e destituídos de foliação. Em mina visitada em Barra do São Francisco observam-se zonas de transição por contatos irregulares e relativamente bruscos entre estes granitoides e os charnockitos

Também inseridos na Suíte Aimorés afloram corpos de plutonitos de composição norítica a diorítica, mais precisamente gabros a hiperstênio. No geral constituem rochas de cor preta, textura equigranular, granulação média e mostram-se destituídas de foliação.

A esta unidade associam-se os principais jazimentos de granitos da linha verde explorados no estado, tais como; Verde Pavão, Verde Ubatuba, Verde Jade e Verde Butterfly. A ela associam-se também alguns granitos da linha preta, relacionados com os plutonitos de composição gabróide e conhecidos no mercado como Preto São Benedito e Preto Cotaxé. Ainda como fornecedores de granitos ditos pretos têm-se os mafitos das suítes intrusivas Espírito Santo e Santa Angélica, onde se exploram os conhecidos granitos Preto São Gabriel e Preto Santa Angélica.

Relacionados ao plutonismo tardi a pós–orogênico, afloram leucogranitóides a granada como *stocks* intrusivos em gnaisses do Complexo Nova Venécia e nos granitóides das suítes Carlos Chagas e Ataléia. Constituem afloramentos em maciços de grandes proporções, onde as rochas variam de quase totalmente brancas a cinza - esbranquiçadas com textura variando de equigranular a porfirítica e granulação fina a média até grossa, se destacam pelas pontuações milimétricas de granada.

Estes leucogranitos possuem composição sienograníticas com tendência para monzograníticas, apresentando texturas predominantemente hipidiomórficas, localmente granoblásticas, sendo geralmente isotrópicos e homogêneos. Salienta-se que nas zonas deformadas podem exibir foliação milonítica, notadamente quando associados a zonas de cisalhamento transcorrentes. Associados a esta unidade tem-se os granitos da linha branca conhecidos como Siena, Aqualux, Desirée e Saara.

Os granitos ditos ornamentais de cor cinza do Espírito Santo associam-se ao plutonismo tipo I de caráter pós-tectônico, os quais afloram formando amplos maciços e matacões. Afloram nas regiões de Castelo, Alegre e Venda Nova e apresentam no mercado os tipos conhecidos como: Cinza Andorinha, Cinza Corumbá, Cinza Castelo, Cinza Ocre e Cinza Prata.

As ocorrências de mármore da região sul do Espírito Santo inserem-se no domínio do Grupo Italva – Unidade São Joaquim, de idade neoproterozoica e corresponde a uma sequência metacarbonática, com espessura entre 500 e 1000 metros, constituída de mármore calcítico a dolomítico rico em grafita, com intercalações de anfibolitos, rochas metaultramáficas, calcissilicáticas e *metachert* quartzoso (Duarte, 2012).

Estes calcários cristalinos ocorrem sob a forma de amplas lentes ao longo das faixas Itaoca – Campo de São Fidelis e Campo Verde – Bom Jardim – São Cristóvão, abrangendo os municípios de Castelo e Cachoeiro do Itapemirim. Com base na sua variação cromática, aspecto estrutural do litotipo e conseqüentemente da sua composição mineralógica, os mármore desta região recebem diferentes denominações comerciais, tais como chocolate, Pinta verde, Champagne, Branco Calcita e Cintilante.

Relacionados aos paragneisses do Grupo Nova Venécia têm-se os biotita gnaisses eventualmente migmatizados conhecidos como Preto Indiano, e os biotita gnaisses do Grupo Italva - Unidade Macuco, onde afloram biotita gnaisses bandados e dobrados, comercializados com o nome de Astrus.

3. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALMEIDA, F. F. M. de Províncias estruturais brasileiras. *In*: Simpósio de Geologia do Nordeste, 8, 1977. Campina Grande. **Atas...** Campina Grande: SBG - Núcleo Nordeste. 1977. P. 363 - 391.

DUARTE, B. P. et. al. **Geologia e recursos minerais da Folha Itaperuna SF.24 – V.C.I.** Estado do Rio de Janeiro, escala 1: 100.000. Sistema de Informações Geográficas – SIG. Belo Horizonte: CPRM. 2012. 1 CD ROOM.

VIEIRA, V. S. et. al. **Mapa Geológico do Espírito Santo**, escala 1: 400.000 (S.I) CPRM, 2013. 1 Mapa.

SOUZA, D. V.; VIDAL, F. W. H. Análise da recuperação do diamante oriundo do resíduo de teares multifio. *In*: Jornada de Iniciação Científica, 21. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013. 4 p.

CONDIÇÕES DE ALOJAMENTO DE MAGMAS DACÍTICOS NO TERRENO ALTO MOXOTÓ DA PROVÍNCIA BORBOREMA: ESTUDO DE CASO DA ROCHA ORNAMENTAL BLUE SUCURU

*Lauro Cézar Montefalco de Lira Santos*¹, *Edilton José dos Santos*², *Haroldo Monteiro Lima*³

¹ Geólogo, Msc., Universidade Federal de Campina Grande

² Geólogo, PhD., Serviço Geológico do Brasil

³ Geólogo, Msc., Universidade de Brasília

lauromontefalco@gmail.com

RESUMO

O granito Sucuru ou *Blue Sucuru* corresponde a uma das mais belas rochas ornamentais do estado da Paraíba. Sua aplicabilidade corresponde principalmente a pisos, paredes e mesas de aeroportos e grandes centros comerciais em função de sua beleza conhecida internacionalmente. Por outro lado, o granito *Blue Sucuru* possui uma característica rara do ponto de vista geológico, que é a presença de cristais de quartzo de coloração azulada, o que agrega valor significativo para este bem mineral. Localizados nas imediações do distrito de Sucuru, os afloramentos dessas rochas são atribuídos a Suíte magmática de Sucuru, sendo dispostos na forma de diques alinhados nas direções N-S e NW-SE. Observações de campo indicam que essas rochas cortam unidades Paleoproterozoicas de alto grau metamórfico do Terreno Alto Moxotó da Província Borborema. Do ponto de vista petrográfico, essas rochas correspondem predominantemente a dacitos porfiríticos, os quais se encontram intensamente deformados, entretanto riolitos e basaltos ocorrem associados, porém sem aplicabilidade como rocha ornamental. Análise estrutural de detalhe revelou que essas rochas foram submetidas à deformação transicional entre o regime dúctil e rúptil, cuja principal expressão é dada pela sua relação com a zona de cisalhamento Riacho do Buraco de direção N-S e cinemática transcorrente sinistral. A presença de um regime de deformação dúctil é aqui evocada para explicar a formação de bandas miloníticas presentes na maioria das ocorrências desses diques. Por outro lado, sugere-se que a ZC Riacho do Buraco esteve sob influência de zonas de cisalhamento dextrais, indicando a presença de pares conjugados

resultando em um σ_1 principal de direção aproximada N-S. Baseado neste modelo, sugere-se que os diques da Suíte Sucuru teriam se alojado na crosta por meio de um regime tectônico transtraccional.

PALAVRAS-CHAVE: Alojamento de magmas, Dacito Sucuru, Província Borborema

ABSTRACT

The Sucuru granite corresponds to one of the most amazing ornamental rocks of the Paraíba State. Its applicability is concentrated in floors and walls of airports and great commercial sites. On the other hand, this rock has a rare geologic characteristic, which is the presence of bluish quartz crystals, which aggregate significant value to its commodity. Located in the vicinity of the Sucuru district, these rocks are associated to the Sucuru magmatic suite as aligned N-S and NW-SE dyke swarm. Field observations indicate that these rocks cross-cut high-grade Paleoproterozoic rocks of the Alto Moxotó Terrane of the Borborema Province. Its petrography is characterized by porphyritic dacites, which can be highly deformed, besides rhyolites and basalts, without ornamental applicability. Structural analysis revealed that these rocks were submitted to a transitional state between ductile and brittle regime, with the N-S Riacho do Buraco shear zone as the main related structure. The presence of a ductile deformation regime is evoked to explain the presence of mylonitic bands in most of dyke occurrences. On the other hand, we suggest that the Riacho do Buraco shear zone were submitted by dextral strike-slip shear zones, indicating the presence of conjugated pairs, resulting in an N-S σ_1 . Based on this model, it is suggested that the Sucuru dyke swarm was emplaced in continental crust through a transtensional regime.

KEYWORDS: Magma emplacement, Sucuru Dacite, Borborema Province

1. INTRODUÇÃO

O Terreno Alto Moxotó ocorre na porção central da Província Borborema (NE do Brasil). Este domínio tectônico é caracterizado por abundância de unidades paleoproterozoicas, caracterizadas principalmente por gnaisses e migmatitos referidas como rochas do embasamento e intercalações de rochas supracrustais do Complexo Sertânia e rochas máficas e ultramáficas (Santos et al., 2004).

Adicionalmente, rochas cambrianas ocorrem de forma pontual, constituindo granitos tipo-A, como Serra da Engabelada e Prata e diques vulcânicos a subvulcânicos (Guimarães et al., 2004; Santos et al., 2012). Dentre estes últimos, destaca-se o enxame de diques da Suíte Sucuru, que ocorrem nas adjacências da localidade homônima, a qual pertence ao município de Sumé, região do Cariri Paraibano. Uma característica marcante dessas rochas é a sua beleza e potencialidade econômica para rocha ornamental, conhecida como “*blue Sucuru*” tendo sido alvo de atividade exploratória pela Companhia de Desenvolvimento de Recursos minerais do estado da Paraíba (CDRN).

O principal objetivo deste trabalho é apresentar um modelo geológico-estrutural para o alojamento dos magmas que deram origem a esta suíte na crosta continental por meio de dados de campo e microscópicos.

2. ANÁLISE ESTRUTURAL E PETROGRAFIA

Uma abordagem completa da evolução crustal da região de Sucuru (PB) é apresentada por Santos et al., (2012). De acordo com estes autores, esta região é dominada por uma variedade litológica considerável (Figura 1) e principalmente por uma trama polideformacional complexa, onde se identificam os eventos D_n , D_{n+1} , D_{n+2} e D_{n+3} . O evento D_n é caracterizado pela formação de leucossomas e mesossomas em migmatitos do embasamento, formando um *fabric* deformacional caótico. Esta deformação é responsável também pela geração de uma foliação S_n sinuosa e por vezes cortada por mobilizados diatexíticos.

Por outro lado, a trama D_{n+1} é definida por uma sequência de empurrões, formando nappes e duplexes, colocando rochas do Complexo Sertânia por sobre os ortognaisses e migmatitos do embasamento. Não obstante, a deformação D_{n+1} corresponde ao evento mais importante, uma vez que é responsável pelo desenvolvimento de diversas zonas de cisalhamentos transcorrentes,

principalmente na direção NE-SW, deformando rochas do embasamento por meio de cinemática não coaxial sinistral. Além disso, zonas de cisalhamento transcorrentes tais como Riacho do Urubu, possuem cinemática dextral, deslocando com rejeito de alguns quilômetros estruturas pretéritas.

Estas estruturas forma extensos corredores miloníticos que são caracterizados por tectonitos do tipo S-L (foliação vertical + lineação de estiramento mineral subhorizontal) e o desenvolvimento de diversas estruturas dilatacionais, tais como veios de quartzo e veios e diques preenchidos por basaltos. Estes marcadores estruturais estão associados a tectônica D_{n+3} , o qual representa uma progressão de D_{n+2} .

Ao longo destas estruturas, ocorrem os diques da Suíte Sucuru, os quais correspondem a dacitos, riolitos, riodacitos com ou sem textura porfírica (Figura 2). Algumas dessas rochas ocorrem deformadas, principalmente nas proximidades de zonas de cisalhamento, tais como a zona de cisalhamento Riacho do Buraco, formando corredores ultramiloníticos a protomiloníticos. As direções principais destes diques são preferencialmente N-S, NW-SE e E-W, principalmente para os metadacitos, os quais são os principais alvos que compõe os principais alvos exploratórios para o *blue sucuru*.

Do ponto de vista petrográfico, essas rochas são inequigranulares, com fenocristais subedrais a anedrais de quartzo e plagioclásio. Sua mineralogia é composta por: fenocristais de quartzo e plagioclásio, algumas lamelas de biotita que se destacam em meio à fina matriz da rocha. Essa matriz é composta principalmente pelo próprio plagioclásio, por anfibólio sódico (possivelmente crossita), rara muscovita e minerais opacos.

A análise microscópica permitiu realizar ainda inferências com relação ao pico metamórfico presente nessas rochas. O metamorfismo M_{n+2} é principalmente documentado por milonitos de baixo grau metamórfico. A paragênese sericita + clorita + plagioclásio + quartzo com ocasional epidoto (alanita) é característica dos milonitos da zona de cisalhamento Serra do Buraco e ocorre discretamente nos diques milonitizados da Suíte Sucuru. Essa associação mineral indica condições metamórficas de mais baixo grau, de fácies xisto verde.

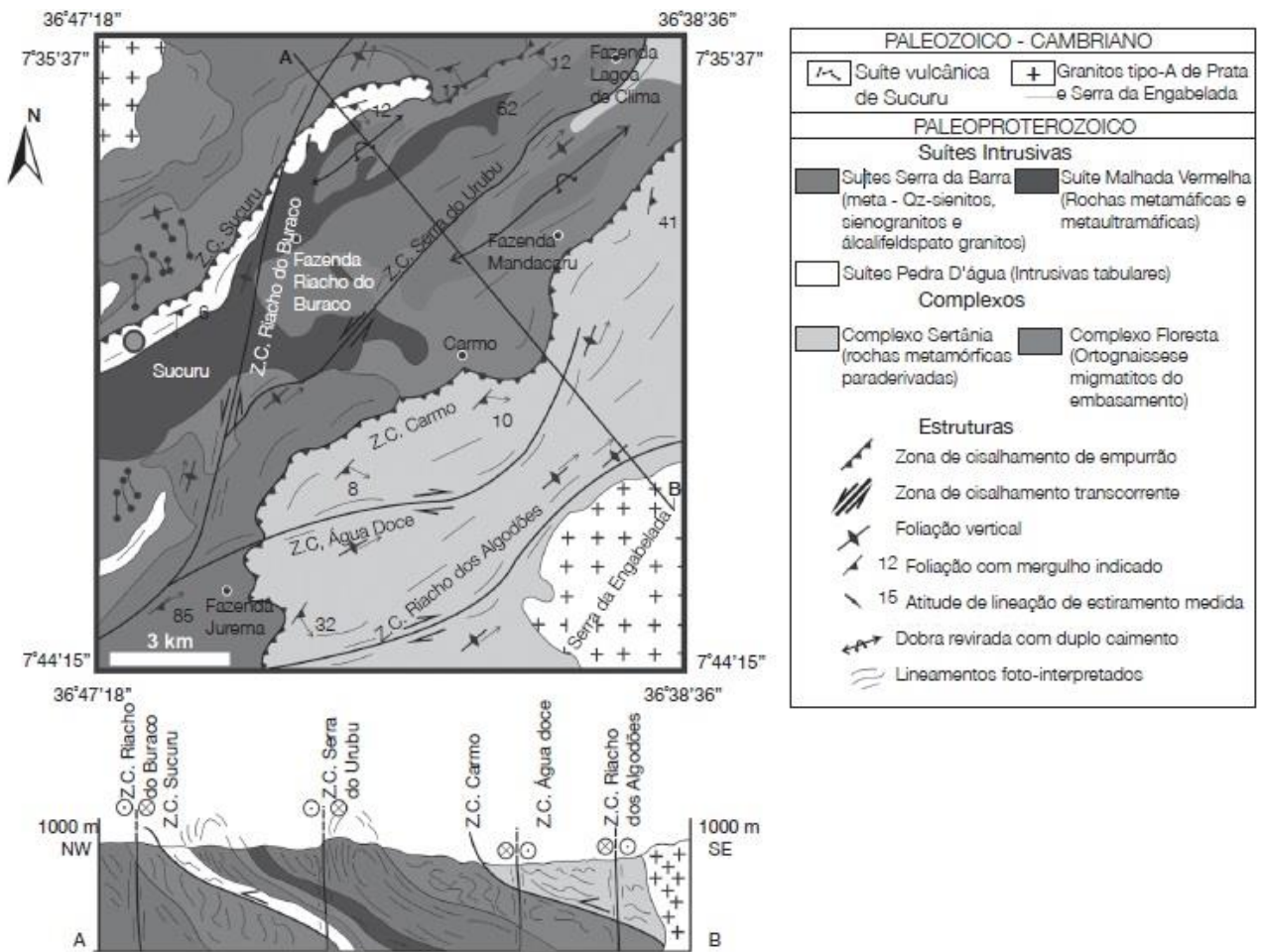


Figura 1 – Mapa geológico da região de Sucuru e seção geológica esquemática mostrando a distribuição das estruturas e principais unidades, incluindo os diques da Suíte Sucuru.

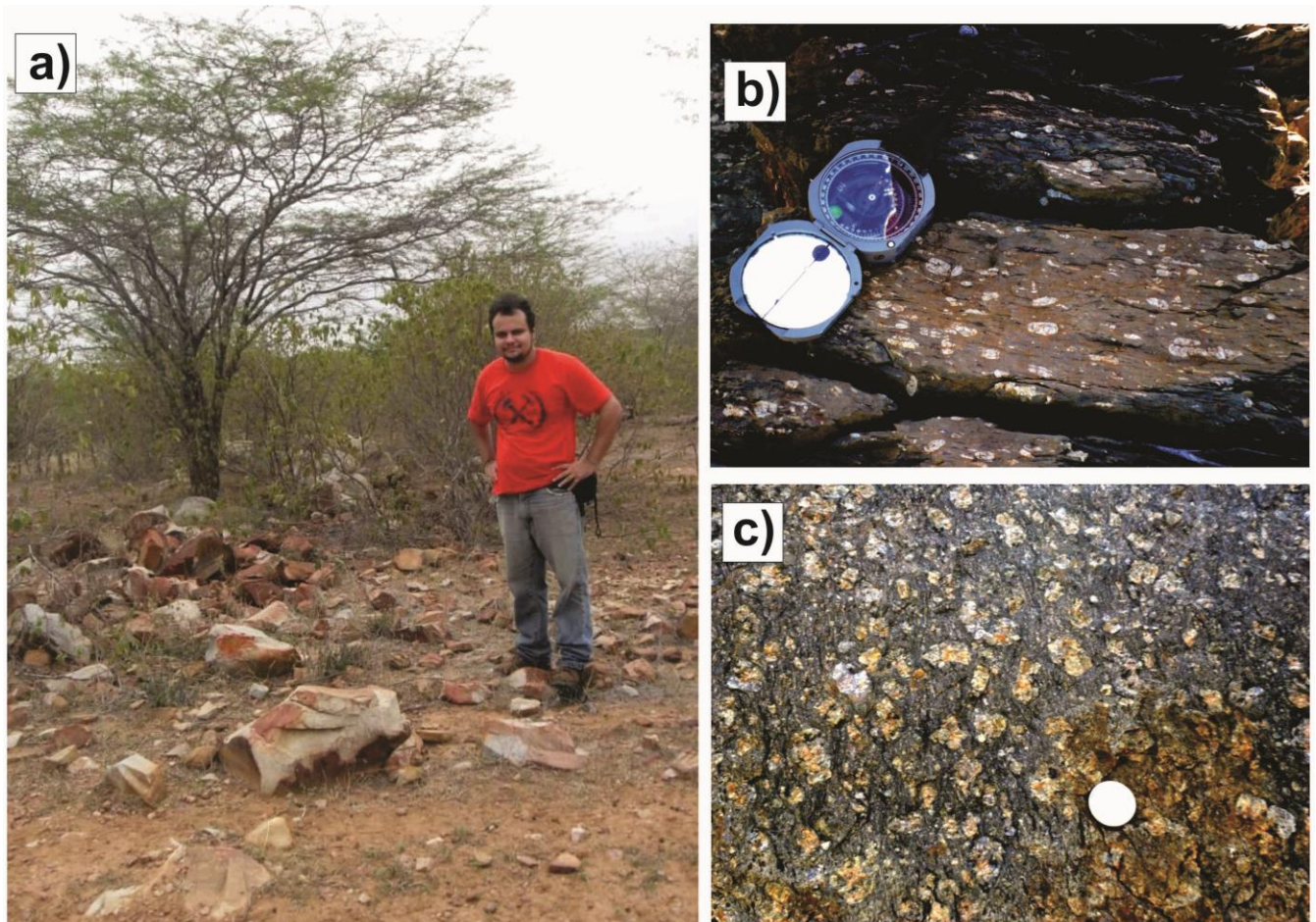


Figura 2 – Aspectos de campo da Suíte Sucuru. A) Alinhamento de blocos de riolito de direção N-S, b) dacito milonítico caracterizado pelo alinhamento de cristais de feldspato potássico e c) dacito porfirítico propício para exploração como rocha ornamental.

3. ASPECTOS CONCLUSIVOS

As rochas que compõem a rocha ornamental *Blue Sucuru* são caracterizadas petrograficamente como dacitos, dacitos porfiríticos ou dacitos miloníticos, em função da interferência de zonas de cisalhamento dúcteis. O alojamento dessas rochas na crosta continental se deu por um evento tectônico denominado Dn+3. Este evento é de caráter transtraccional, associado à cinemática dextral da ZCCX, sendo responsável pela nucleação da ZC Serra do Buraco e pelo alojamento do enxame de diques da Suíte Sucuru e os granitos tardios a pós-tectônicos de tipo-A de Prata e Serra da Engabelada. Os dados geocronológicos (U-Pb) existentes na literatura indicam intervalos de idades de 548 – 543 e 543 – 538 Ma (Hollanda et al., 2010; Guimarães et al., 2004) para esse episódio tectônico.

Desta forma, propomos que o alojamento destes diques na crosta continental se deu através de estruturas dilatacionais, que estariam ainda sendo afetadas pela tectônica transcorrente predominante na região (*extrusion tectonics*), resultando na injeção de magmas que seriam deformados quase de forma coeva a sua cristalização.

Adicionalmente, a presença de um regime de deformação dúctil é aqui evocada para explicar a formação de bandas miloníticas presentes na maioria das ocorrências desses diques. Por outro lado, sugere-se que a ZC Riacho do Buraco esteve sob influência de zonas de cisalhamento dextrais, indicando a presença de pares conjugados resultando em um σ_1 principal de direção aproximada N-S. Baseado neste modelo, sugere-se que os diques da Suíte Sucuru teriam se alojado na crosta por meio de um regime tectônico transtraccional sendo submetidos a condições de metamorfismo de fácies Xisto-verde.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HOLLANDA, M. H. B. M.; ARCHANJO, C. J.; SOUZA, L. C.; ARMSTRONG, R.; VASCONCELOS, P. M. Cambrian mafic to felsic magmatism and its connections with transcurrent shear zones of the Borborema Province (NE Brazil): implications for the late assembly of the West Gondwana. **Precambrian Research**, v. 178 (2010) p. 1-14.

GUIMARÃES, I. P.; SILVA FILHO, A. F.; ALMEIDA, C.N.; VAN SCHMUS, W.R.; ARAUJO, J.M.M. Brasiliano (Pan-African) granitic magmatism in the Pajeú-Paraíba Belt, Northeast Brazil: Na isotopic and geochronological approach. **Precambrian Research** Vol 135 (2004) p. 23-53, 2004.

SANTOS, E. J.; NUTMAN, A. P.; BRITO NEVES, B. B. Idades SHRIMP U-Pb do Complexo Sertânia: Implicações sobre a evolução tectônica da Zona Transversal, Província Borborema. **Geologia USP - Série Científica**, Vol (2004)4, p. 1-12.

SANTOS, L.C.M.L.; SANTOS, E.J.; DANTAS, E.L.; LIMA, H.M. Análise estrutural e metamórfica da região de Sucuru-PB: Implicações para a evolução do Terreno Alto Moxotó, Província Borborema. **Geologia USP – Série Científica**, Vol 12 (2012) p. 5-20.

SEGURANÇA E SAÚDE NA PRODUÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Nuria Fernandez Castro¹, Leonardo Cattabriga Freire²,

¹ Enga. de Minas, MSc., Tecnologista Pleno, Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTI

² Eng. Petróleo e Gás, Técnico em Tratamento de Minérios, Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTI

lfreire@cetem.gov.br

RESUMO

A falta de preocupação com a segurança dos trabalhadores em alguns ambientes de trabalho no Brasil gera um custo muito alto para o país. Cerca de 700 mil casos de acidentes de trabalho são registrados em média no Brasil todos os anos, sem contar os casos não notificados oficialmente e, de acordo com o Ministério da Previdência, o país gasta cerca de R\$ 70 bilhões com esse tipo de acidentes anualmente. De todos os setores industriais, a mineração é um dos mais perigosos; a indústria extrativa mineral é ainda responsável pelas maiores taxas de mortalidade dentre toda a indústria brasileira. No setor de rochas ornamentais também são frequentes os acidentes, sendo os mais graves, muitas vezes fatais, os acontecidos na movimentação de cargas e, infelizmente, o forte ritmo de desenvolvimento tecnológico do setor nos últimos anos não tem sido acompanhado pelo desenvolvimento da conscientização da necessidade da proteção à saúde e segurança entre seus trabalhadores. São muitos os locais de trabalho perigosos ou insalubres na produção das rochas ornamentais e muitos os incidentes e acidentes, normalmente não comunicados, que poderiam ser evitados com um trabalho intensivo de educação. Da mesma forma, a proteção da saúde dos trabalhadores frente à exposição contínua a agentes nocivos, continua sendo relegada a um segundo plano, observando-se, frequentemente a utilização de equipamentos e dispositivos de proteção inadequados e, salvo raras exceções, a falta de sistemas de proteção coletiva e capacitação continuada. Este trabalho aborda essas questões de forma específica para as diversas atividades laborais da extração e beneficiamento de rochas ornamentais, detalhando tanto os riscos, quanto as normas do Ministério do Trabalho e os equipamentos e dispositivos que visam diminuir aqueles riscos para uma maior proteção da saúde dos trabalhadores.

PALAVRAS-CHAVE: rochas ornamentais, segurança, saúde, acidentes, prevenção.

ABSTRACT

The lack of concern for the safety of workers in some working environments in Brazil generates a very high cost for the country. About 700,000 cases of work accidents are recorded on average in Brazil every year, not including unreported cases officially, and according to the Ministry of Welfare, the country spends about US \$ 70 billion with this type of accident each year. Mining is, among all of the industrial activities, one of the most dangerous, still responsible for the highest mortality rates. Within the natural stones sector, accidents are also frequent, being the most dangerous, fatal in many occasions, those occurred during the stones handling. Unhappily, a raising on workers awareness on health and safety issues, the last years, has not followed the great pace of this sector's technological development. Many workplaces and activities are dangerous or unhealthy amongst natural stones mining and processing and many accidents and incidents, usually not informed to the authorities, could be avoided with educational health and safety programs. Similarly, the workers' health protection against continuous exposure to harmful agents, has been relegated to a background, as it can be frequently observed, within this sector, the use of inadequate protective equipment and, with rare exceptions, the lack of collective protection systems and continuous training. This paper addresses these issues specifically for the various work activities of extraction and processing of natural stones, detailing the risks involved, the rules of the Ministry of Labor and the equipment and devices aimed at reducing those risks for a greater health protection of the stone workers.

KEYWORDS: natural stones, health and safety, accidents, prevention.

1. INTRODUÇÃO

A Organização Internacional do Trabalho – OIT, instituiu a data de 28 de abril de 1969, como o Dia Mundial da Segurança e Saúde no Trabalho, como triste lembrança de um terrível acidente acontecido em uma mina norte-americana no estado da Virginia, onde houve uma explosão e 78 mineiros faleceram, e de forma extensiva como lembrança de todas as vítimas de acidentes e doenças relacionadas ao trabalho. Segundo dados da OIT de 2013, a cada 15 segundos morre um trabalhador por razões de doença ou acidente de trabalho e 151 trabalhadores sofrem algum tipo

de acidente relacionado ao trabalho. A OIT aponta ainda 5.500 mortes por dia, ou seja, mais de dois milhões de mortes por ano devido a enfermidades relacionadas com o trabalho, mais de trezentas mil pessoas morrem a cada ano como consequência de acidentes no trabalho, mais de cem milhões de pessoas sofrem de doenças não letais relacionadas com o trabalho e mais de trezentos milhões de acidentes laborais não mortais ocorrem a cada ano. Mesmo que as condições de saúde e segurança no trabalho sejam diferentes entre os países o que se sabe é que em todo o mundo os mais pobres e os menos desprotegidos (mulheres, crianças e os migrantes) são os mais afetados.

No Brasil, de todos os setores industriais, a mineração é um dos mais perigosos. A indústria extrativa mineral é ainda responsável pelas maiores taxas de mortalidade dentre toda a indústria brasileira, na ordem de 30% seguida pelo setor da construção civil 17%. (PELLEGRINELLI, 2013). Dentro da mineração, o setor de rochas ornamentais, que se estima tenha gerado, pelo menos, 50.000 empregos diretos nos últimos 12 anos (ABIROCHAS, 2013), apresenta altos índices de acidentes de trabalho, e os acidentes mais graves, quase sempre fatais, que acontecem na produção de rochas ornamentais, ocorrem durante a movimentação de cargas, tanto de chapas nas empresas quanto de blocos nas estradas. Por esse motivo, existem normas específicas para essas atividades (a NR11 – movimentação de chapas e a Resol. Contran 354 para o transporte de blocos).

No Espírito Santo, principal polo produtor e exportador de rochas ornamentais do país, 10 pessoas perderam a vida em acidentes considerados de trabalho em 2012, sendo quatro mortes em pedreiras, três no trajeto, dois no beneficiamento e uma durante o transporte do material em que o motorista foi a vítima. Infelizmente, de janeiro a junho de 2013 foi alcançado esse mesmo número de 2012, de 10 acidentes fatais no setor de rochas ornamentais, com cinco mortes no Estado do Espírito Santo, duas no Estado da Bahia, duas no Estado de Manaus e uma em Recife. Em 2014 mais 10 pessoas também acabaram perdendo a vida sendo vítimas fatais do setor de rochas ornamentais e em 2016 já foram contabilizadas três mortes até o momento (SINDIMARMORE, 2016).

De acordo com as informações do Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho de 2013 do Ministério da Previdência Social, foram registrados, no Brasil, 717.911 acidentes do trabalho, sendo 13.271 no estado do Espírito Santo. Esses acidentes são decorrentes das atividades típicas da função dos trabalhadores, sofridos no trajeto e doenças do trabalho (ANUARIO BRASILEIRO DE PROTEÇÃO, 2015). Provavelmente esses números são maiores já que em muitas empresas a

ocorrência de acidentes de trabalho é omitida ou diminuída, às vezes pelos próprios trabalhadores com medo de serem responsabilizados. No entanto, por menor que possa ser o grau do acidente ocorrido e por mais que o trabalhador tente esconder sua ocorrência, a empresa é obrigada por lei a zelar pela saúde e segurança de seus trabalhadores, assim como a fiscalizar as condições do ambiente de trabalho para reduzir o risco dos acidentes acontecerem ou diminuir suas consequências quando acontecem. Ainda deve se destacar que as estatísticas de acidentes não incluem os trabalhadores autônomos (contribuintes individuais). Isto é importante no caso do setor de rochas ornamentais, que é constituído, em sua maioria, por pequenas e micro empresas e que conta com grande quantidade de trabalhadores autônomos (consultores, fornecedores de insumos e serviços, clientes) que circulam habitualmente pelas pedreiras e unidades de beneficiamento.

Os tipos de acidentes de trabalho e doenças mais frequentes na cadeia produtiva das rochas ornamentais, assim como as medidas para sua prevenção, são tratados neste artigo.

2. ACIDENTES DE TRABALHO

Acidente de trabalho é todo dano sofrido por alguém, devido ao trabalho, que tenha requerido tratamento médico ou resulte em perda de consciência ou morte. Pode causar lesões corporais ou perturbações funcionais, pode resultar em morte, perda e redução, permanente ou temporária, das capacidades físicas ou mentais do trabalhador, etc. Além dos acidentes que acontecem nos locais do trabalho também são tratados como tais:

- Doenças provocadas pelo trabalho. Ex: problemas de audição, visão, etc.;
- Acidentes que ocorrem fora do local de trabalho, mas durante o trabalho;
- Doenças causadas pelas condições de trabalho. Ex.: inalação de poeira;
- Acidentes que ocorrem no trajeto do trabalho para casa;
- Acidentes que ocorrem em viagens a serviço da empresa.

Um acidente é algo que acontece quando convergem diversas condições fora do comum em um determinado ambiente. Raramente um acidente terá uma única causa, sendo o mais frequente que se deva à combinação de diversos fatores. Os fatores que podem contribuir com a ocorrência de acidentes podem estar relacionados com as pessoas (empregadores, empregados, terceirizados, visitantes) ou com o ambiente de trabalho.

3. PRINCIPAIS RISCOS SOFRIDOS PELOS TRABALHADORES DO SETOR PRODUTIVO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

3.1 Exposição a Poeira de Sílica

A sílica livre cristalina, encontrada na poeira mineral, é a principal causadora da doença denominada silicose, causada por inalação dessa poeira e fixação das partículas de sílica nos pulmões (pneumonia).

Pode aparecer em diversas operações de mineração como, por exemplo, nas operações de lavra por explosivos e na mineração contínua, nas operações de perfuração, corte e retirada de rochas da frente de lavra e nas operações de transporte, britagem, moagem, peneiramento, dentre outros.

3.2 Exposição ao Ruído

O Ruído é um dos principais agentes físicos que afetam à saúde dos trabalhadores, principalmente por ocorrer em quase todos os ambientes de trabalho e ter um caráter, muitas vezes, contínuo. Profissionais de segurança e saúde do trabalho consideram o ruído como um dos maiores problemas relacionados à saúde do trabalhador.

A exposição de um trabalhador a ruído contínuo ou intermitente leva a alterações estruturais no ouvido interno, que determinam a ocorrência da Perda Auditiva Induzida por Ruído (Pair). A Pair é a reclamação mais frequente quanto à saúde dos trabalhadores de todos os setores (GABAS, 2004).

O trabalhador portador de Pair pode desenvolver intolerância a sons intensos, queixar-se de zumbido e de diminuição de inteligibilidade da fala, com prejuízo da comunicação oral. O ruído pode ocasionar também outros problemas de saúde como: zumbido no ouvido, alterações digestivas e cardíacas, fadiga, dor de cabeça e redução na concentração (BRASIL, 2014).

Considerando que a perda auditiva é irreversível e progressiva, é fundamental que os efeitos do ruído sejam evitados com a eliminação ou redução da exposição, utilizando-se do equipamento de proteção individual para proteção auditiva.

3.3 Exposição a outros fatores de risco

3.3.1 Vibrações em mãos e braços

Os trabalhadores do setor da rochas ornamentais estão muitas vezes expostos a vibrações localizadas e vibrações de corpo inteiro, durante o desempenho das suas atividades. Além de reduzir seu desempenho, essas vibrações também prejudicam sua saúde. Conforme o modo de contato entre o objeto vibrante e o corpo, a exposição às vibrações se divide em dois grandes grupos: vibrações de mãos-braços e vibrações de corpo inteiro (VENDRAME, 2011). As Vibrações de mãos-braços resultam do contato dos dedos ou das mãos com algum elemento vibrante (principalmente do uso de ferramentas manuais, portáteis ou não). Já as Vibrações de Corpo Inteiro são características em plataformas industriais (veículos pesados, tratores, retro escavadeiras, embarcações marítimas e trens, entre outras), e as transmissões das vibrações ao corpo são dependentes da postura e do indivíduo, pois nem todos apresentam a mesma sensibilidade. Não há cura para a síndrome da vibração, mas na maioria dos casos, a exposição à vibração pode ser evitada ou muito reduzida (FUNDACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DE RESGOS LABORALES, 2009), logo prevenção é a palavra chave e o empregador deve mapear os locais onde os trabalhadores podem estar expostos à vibração, programar o uso de ferramentas com design ergonômico ou com controle da vibração e tomar medidas para reduzir as vibrações. É indicada a realização anual de exames médicos específicos para se conhecer o estado de saúde dos trabalhadores expostos às vibrações. Assim mesmo, deve-se informar aos trabalhadores sobre os níveis de vibrações aos quais estão expostos, bem como as medidas de proteção disponíveis. Também é interessante mostrar aos trabalhadores como se pode aperfeiçoar seu esforço muscular e postura para realizar seu trabalho (REGAZZI, 2013).

3.3.2 Riscos Ergonômicos (LER / DORT)

A Lesão por Esforço Repetitivo – LER - e os Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho – DORT - têm sua origem ocupacional, sendo doenças caracterizadas pelo desgaste de estruturas do sistema musculoesquelético que atingem várias categorias profissionais. Decorrem do uso repetido ou forçado de grupos musculares e da manutenção de postura inadequada,

atingindo principalmente os membros superiores como a região escapular e a região cervical. Esta patologia é reconhecida pela legislação brasileira, e já é considerada uma epidemia (SUS, 2013).

3.3.3 Riscos de Acidentes em Geral

Os principais tipos de acidentes no setor de rochas ornamentais são:

- Quedas e choques por movimentação de máquinas, elementos móveis (correias), uso de ferramentas, pisos escorregadios ou irregulares, áreas de trabalho obstruídas;
- choques elétricos na operação e manutenção de equipamentos e por instalações elétricas inadequadas;
- queimaduras pelo manuseio de materiais inflamáveis e o contato com produtos químicos;
- cortes e mutilações pela utilização de máquinas e equipamentos;
- cortes, mutilações e esmagamentos na movimentação, armazenagem, e transporte de blocos e chapas de rochas;
- lesões por desabamento de taludes e por projeção de fragmentos de rocha durante as explosões nas pedreiras; e
- lesões pela projeção de pequenos fragmentos durante operações de perfuração e corte de rochas ou movimentação de carga no pátio de beneficiamento das rochas.

4. UTILIZAÇÃO DE EPI

Equipamento de Proteção Individual – EPI - é: “todo dispositivo ou produto, de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho” (BRASIL, 2014, p. 79). Sua utilização se restringe a condições em que a proteção completa do trabalhador está comprometida contra um ou mais riscos que possam ocorrer no trabalho e a escolha do EPI adequado deve atender à legislação. Porém, o correto uso do EPI não se limita apenas a proteger o trabalhador. Sua importância vai muito além, haja vista que a utilização irregular do EPI poderá comprometer a segurança, o conforto, a comunicação e o desempenho dos trabalhadores. Vale ressaltar que a Comissão Interna de Prevenção de Acidentes - Cipa, junto com os integrantes do Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho –SESMT - são responsáveis pela escolha dos EPIs e sua frequente revisão, em virtude de mudanças internas ou externas que possam ocorrer (BRASIL, 2014).

5. PRINCIPAIS FUNÇÕES DOS TRABALHADORES NA EXTRAÇÃO

A primeira etapa do processo produtivo de rochas ornamentais é a extração de mármore e granitos das jazidas. As rochas ornamentais são lavradas a céu aberto, no Brasil, em pedreiras. Estas são constituídas de frentes de lavra, rampas de acesso e áreas de servidão e apoio. Nas frentes são desmembrados do maciço grandes volumes de rocha que são divididos, a seguir, em blocos comerciais em praças de trabalho. As pedreiras dispõem também de praças secundárias que tem a função de dar apoio ao desmonte, assim como pistas e rampas que realizam as ligações entre praças, áreas de depósito e carregamento dos blocos. Muitos trabalhadores estão envolvidos nesta etapa de extração como, operador de perfuratriz manual (marteleiteiro), cabo de fogo (blaster), operador de fio diamantado (fiolista), manobrista, encarregados e supervisores.

6. PRINCIPAIS FUNÇÕES DOS TRABALHADORES NO BENEFICIAMENTO

A segunda etapa do ciclo produtivo das rochas ornamentais é o beneficiamento, fase na qual os blocos extraídos nas pedreiras passam pelo processo de desdobramento em chapas denominado serragem, em teares multilâmina ou multifio. As chapas são submetidas a polimento ou outros acabamentos superficiais, mediante diversos processos abrasivos e utilização de resinas e outros produtos químicos. As funções mais importantes desempenhadas pelos trabalhadores nesses processos são de serrador, polidor, resinador, operador de ponte, cortador e acabador. Os acidentes mais graves acontecem na movimentação das chapas, pois devido ao seu peso, a queda de uma chapa sobre um trabalhador, quase sempre resulta em morte. Esses acidentes acontecem na área de serragem, na hora de se retirar as chapas do tear, na área de polimento onde há maior movimentação das chapas e, com maior frequência, no carregamento nos caminhões ou containers. No entanto, todas as funções do trabalhador das rochas ornamentais envolvem riscos que devem ser mapeados para se tomarem as medidas de proteção adequadas.

7. EPI PARA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

As Normas de Segurança e Saúde do Trabalhador (BRASIL, 2014), devem ser seguidas fazendo parte da política geral das empresas. Um dos requisitos fundamentais dessa legislação é o uso de EPIs - Equipamentos de Proteção Individual (NR6). As empresas, há muito tempo, tem

ciência de que a utilização do EPI é de fundamental importância para a segurança dos funcionários. As grandes empresas compreendem que sua utilização ou não, influencia a produtividade, e por isso, são rígidas quanto a essa utilização. Porém pequenas empresas costumam ter menor preocupação com a questão que envolve o funcionário e os acidentes de trabalho e permitem que se crie uma cultura viciada, na qual os trabalhadores, por considerarem desconfortável o uso do EPI, não os utilizam. Nas tabelas 1 e 2, apresentam-se, a modo de resumo, os riscos à saúde e segurança dos trabalhadores do setor de rochas ornamentais de acordo à função por eles desempenhada, bem como os EPIs recomendados para sua proteção. Foram incluídas apenas funções específicas da produção de rochas ornamentais, mas todos trabalhadores estão expostos a riscos no ambiente de trabalho, como pode ser o risco de ferimentos pelo uso de ferramentas entre o pessoal de manutenção de equipamentos e maquinário ou riscos ergonômicos entre o pessoal administrativo, por exemplo.

Tabela 1. Resumo de riscos e EPIs na extração de rochas ornamentais, por função

Processo produtivo de Rochas Ornamentais	Principais Funções	Principais Riscos	EPIs Utilizados
Extração	Operador de martelete	Exposição a poeira, ruído, trepidação emitida pelo equipamento de trabalho e umidade	Capacete tipo aba frontal, óculos de lente com tonalidade escura, protetor auditivo tipo concha, EPI para proteção do tronco, luva anti-vibração, calçado e filtro solar
	Cabo de fogo (blaster)	Riscos de acidentes graves e fatais não só pelo fato de lidar diariamente com explosivos, mas também pelo fato de ficar exposto ao desmoronamento e arremessamento de pedras. Exposição a poeira e ruídos.	Capacete tipo aba frontal, óculos de lente com tonalidade escura, protetor auditivo tipo concha, calçado e filtro solar
	Operador de fio diamantado	Profissionais muito próximos à máquina e por isso correm o risco de serem atingidos pelo fio quando esse se rompe. Além disso, ficam expostos à poeira, ao ruído intenso e a umidade.	Capacete tipo aba frontal, óculos de lente com tonalidade escura, protetor auditivo tipo concha, EPI para proteção do tronco, calçado e filtro solar
	Manobreiro (manobrista)	Rompimento dos cabos de aço que içam o bloco para transporte. Podem atingir tanto o manobrista como os outros. Expostos também a poeira e ruídos.	Capacete tipo aba frontal, óculos de lente com tonalidade escura, protetor auditivo tipo plug, calçado e filtro solar
	Encarregado	Exposição a poeira, ruídos, desmoronamento, arremessamento.	Capacete tipo aba frontal, óculos de lente com tonalidade escura, protetor auditivo tipo concha, calçado e filtro solar
	Supervisor	Exposição a poeira, ruídos, desmoronamento, arremessamento.	Capacete tipo aba frontal, óculos de lente com tonalidade escura, protetor auditivo tipo plug, calçado e filtro solar

Tabela 2. Resumo de riscos e EPIs no beneficiamento de rochas ornamentais, por função

Processo	Função	Principais Riscos	EPIs Utilizados
Beneficia- mento	Serrador e seu ajudante	Expostos a ruído intenso e umidade. Contato com a lama abrasiva gerada no desdobramento dos blocos em chapas pelos teares convencionais. Riscos de cortes pela quebra de fios de teares diamantados. Risco de queda de chapas na retirada no final da serrada.	Capacete tipo aba frontal, óculos de lente incolor, protetor auditivo concha, EPI para tronco, luva contra umidade e calçado
	Polidor e assistente	Além da exposição contínua a produtos químicos, esses profissionais estão expostos ao risco de acidentes com a queda de chapas, que são transportadas por eles no momento de entrada e saída da máquina e no carregamento dos caminhões. Expostos a ruídos e umidade.	Capacete tipo aba frontal, óculos de lente incolor, protetor auditivo tipo concha, EPI para proteção do tronco, luva contra umidade e calçado.
	Resinador	Exposição a poeira, ruídos, umidade, calor, além da exposição continuada a agentes químicos provenientes das resinas e produtos de estucado.	Capacete tipo aba frontal, óculos de lente incolor, protetor auditivo tipo plug, EPI para proteção do tronco, luva contra químicos, calçado, máscara facial de proteção das vias respiratórias contra gases e vapores
	Operador de Ponte e Ventosas	Exposição a poeira, ruídos, quedas de chapas, arremessamento	Capacete tipo aba frontal, óculos de lente com tonalidade escura, protetor auditivo tipo plug, calçado.
	Cortador	Expõe o profissional ao risco de acidentes mutilantes e também a um grande contato com a poeira, ruído e umidade. Exige muito esforço físico para operar equipamentos	Capacete tipo aba frontal, óculos de lente incolor, protetor auditivo tipo concha, EPI para proteção do tronco, luva contra agentes abrasivos e escoriantes, calçado, máscara semifacial filtrante
	Acabador	O trabalhador além de ficar exposto a problemas como poeira, vibração, ruído, ergonômicos e riscos de acidentes ele ainda pode estar exposto a agentes químicos presentes nas colas, massas plásticas, ceras, dentre outros.	Capacete tipo aba frontal, óculos de lente incolor, protetor auditivo tipo plug, EPI para proteção do tronco, luva contra químicos, calçado, máscara facial de proteção das vias respiratórias contra gases e vapores

8. SINALIZAÇÃO DE SEGURANÇA

Uma questão importante para garantir a segurança tanto de funcionários e terceirizados quanto de visitantes em pedreiras, serrarias e marmorarias é a sinalização de segurança que deve seguir tanto a NR 26 – Sinalização de Segurança, do MTE, quanto a NRM 12 do DNPM - Sinalização de Áreas de Trabalho e de Circulação. A sinalização de segurança deve as indicações do Plano de Prevenção de Riscos e Acidentes – PPRA e deve ser realizado o devido treinamento dos funcionários.

9. CONCLUSÃO

Apesar da grande evolução tecnológica do setor de rochas ornamentais no país que tem permitido melhorias pela diminuição dos riscos aos quais os trabalhadores estão expostos, bem pelo uso de equipamentos em substituição de ferramentas manuais, bem pela automatização de atividades reduzindo o número de trabalhadores expostos, observa-se que falta conscientização entre trabalhadores e empresários da importância da utilização de sistemas, equipamentos individuais e coletivos e, sobretudo, capacitação, para reduzir os riscos à saúde dos trabalhadores e diminuir os acidentes e suas consequências.

Nos trabalhos de campo realizados pela equipe do Núcleo Regional do Espírito Santo – NRES, unidade do Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTI localizada em Cachoeiro de Itapemirim, tem se observado, com frequência, a falta ou inadequação dos sistemas de proteção à saúde e segurança dos trabalhadores. Mesmo quando esses são disponibilizados pelas empresas, são negligenciados pelos próprios trabalhadores, devido à falta de capacitação continuada. Em um estado como o Espírito Santo, principal polo da produção e exportação de rochas do país e no qual quase todos, se não todos, de seus 78 municípios contam com algum tipo de atividade relacionada à produção e comércio de rochas ornamentais, a importância de se investir em ações de capacitação adquire maiores proporções.

Com o objetivo de contribuir com o setor nesse sentido, o NRES/CETEM está elaborando uma Cartilha de Segurança do Trabalho para o Setor de Rochas Ornamentais, nos moldes da já publicada para pequenas pedreiras, mas visando orientar trabalhadores de médias e grandes pedreiras e do setor de beneficiamento.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. O setor de rochas ornamentais frente ao novo marco regulatório da mineração brasileira. São Paulo: ABIROCHAS. Disponível em http://www.abirochas.com.br/noticia.php?eve_id=1234. 2013. Acessado em: 01/03/2016.

ANUARIO BRASILEIRO DE PROTEÇÃO. Novo Hamburgo: Revista Proteção, Edição especial. V.20. 2015.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. 2014a. Portaria nº 3214 de 8 de junho de 1978: Normas Regulamentadoras relativas à segurança e medicina do trabalho. Norma Regulamentadora Nº 11. In: Manual de Legislação Atlas de Segurança e Medicina do Trabalho, 67a edição, São Paulo: Atlas, 2014. 1042 p.

FUNDACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DE RESGOS LABORALES - Identificación de riesgos laborales y guía de buenas prácticas en la elaboración de piedra natural. Santiago de Compostela, Espanha: CIG Gabinete Técnico de Saúde Laboral – Confederación Intersindical Gallega, 2009. 354 pp. Il.

GABAS, Gláucia C. Programa de Conservação Auditiva: 3M Soluções para Saúde Ocupacional e Segurança Ambiental; Brasil, 2004.

PELLEGRINELLI, Cláudia Mara B.F. Programa Especial de Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração. Palestra proferida no Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro, 16 abril. 2013.

REGAZZI, Rogério Dias. Análise da vibração e referências normativas. (on line). Disponível em: <http://isegnet.porta80.com.br/siteedit/arquivos/3R%20CURSO%20Vibracao%20no%20Corpo%20Humano%20Analise.pdf>. Acesso em 26 de junho de 2013.

SINDIMÁRMORE - Sindicato dos Trabalhadores do Mármore e Granito do Espírito Santo. Tragédias no setor de rochas: já são três os acidentes fatais este ano. 02/02/2016. Disponível em: <http://www.sindimarmore.com.br/noticias>. Acesso em 07 de junho de 2013.

SUS - Sistema Único de Saúde. LER/DORT. (on line). Disponível: <http://www.saude-rioclaro.org.br/crst/cartilhas/Cartilha%20LER%20DORT%20Cerest%20-%20RC%202008.pdf>. Rio Claro: São Paulo, 2008. Acesso em 17 de fevereiro de 2016.

VENDRAME, Antônio Carlos. Vibrações ocupacionais. (on line). Disponível em: http://www.vendrame.com.br/novo/artigos/vibracoes_ocupacionais.pdf. Acesso em 26 de junho de 2013.

ANÁLISE COMPARATIVA DE PERFURATRIZES HIDRÁULICA E PNEUMÁTICA EM RELAÇÃO EFICIÊNCIA NA PERFURAÇÃO DE GNAISSE ORNAMENTAL

*Júlio César de Souza*¹, *Ladimílson Parra de Araújo*²

¹ Engenheiro de Minas, docente Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral

² Engenheiro de Minas, Professor - IFBA/ Campus Brumado

jcsouza@ufpe.br

RESUMO

Esta pesquisa foi elaborada para comparar a eficiência das máquinas Perfuratriz Hidráulica Perfora Girodrill e a Perfuratriz Pneumática sobre Esteiras modelo Fravizel MPL3 em relação ao custo, tempo de ciclo, taxa de penetração e produtividade para perfuração de gnaisse ornamental. A partir da observação in loco junto a pedreiras de gnaisses de diferentes tipos foi desenvolvido um estudo de tempos e movimentos visando medir o tempo de perfuração e tempo de ciclo. Com esses dados é possível calcular a eficiência da operação e a produção de cada máquina levando em consideração o tempo real trabalhado, descartando horas paradas. Foi determinado o custo de cada perfuratriz a partir de dados de pedreiras de rocha ornamental para obter o custo em reais por metro perfurado e comparar o custo unitário entre as perfuratrizes. Através da medição do tempo de ciclo e de taxa de penetração pode-se avaliar a performance de cada um dos dois equipamentos de perfuração por meio dos custos unitários de operação, custo total e produtividade. Como princípio básico, a disposição em que está a bancada influencia na escolha. Se estiver muito inclinada não é indicado o uso da MPL-3M, pois diminuiria a pressão de perfuração, além da dificuldade de colocá-la em cima da prancha. Se a inclinação for maior do que 30º, é mais indicado o uso da Girodrill. A perfuratriz MPL-3M leva vantagem em relação à perfuratriz Girodrill por apresentar um custo de investimento e um custo unitário de perfuração menor do que a Girodrill, porém a Girodrill é um equipamento mais moderno, com maior autonomia e com mais recursos do que a MPL3 e que na relação perfuratriz por perfuratriz, tem uma produção maior. Embora os modelos hidráulicos conquistem cada vez mais usuários e avancem no país, os pneumáticos ainda se mostram competitivos em função de serem até mais leves e de exigirem menor custo de aquisição por parte do usuário. A essas características se soma o fato de apresentarem um custo de manutenção muito menor que as carretas hidráulicas, o que as torna preferidas entre as empresas de menor porte.

PALAVRAS-CHAVE: Produtividade, Custo de perfuração, Perfuração de rochas, perfuratriz hidráulica e pneumática.

ABSTRACT

This study was designed to compare the efficiency of the machines Hydraulic Drilling model Perfora Girodrill and Pneumatic Drilling model Fravizel MPL3 regarding cost, cycle time, penetration rate and productivity for ornamental gneiss drilling. From the observation spot along the gneiss quarries of different types has been developed a time and move study aimed at measuring the drilling time and cycle time. With this data it can calculate the efficiency of the operation and the production of each machine taking into account the actual time worked, dismissing downtime. It was determined the cost of each drill from ornamental rock quarries for the cost in reais per meter drilled and compare the unit cost between drills. By measuring the cycle time and penetration rate was possible evaluate the performance for the two drilling equipment through the operation unit cost, total cost and productivity. As a basic principle, the bench configuration influences on the choice. If the bench is too steep it is not indicated the use of MPL-3M, because it would reduce the drilling pressure, besides the difficulty to put it on the floor. If the slope is greater than 30°, the use of Girodrill is most suitable. The MPL-3M drill has an advantage over the drill Girodrill to present an investment cost and a unit drilling cost less than Girodrill, however the Girodrill is a more modern equipment, with greater autonomy and more resources than MPL3. Although hydraulic models conquer more and more users and make progress in the country, the pneumatic machines still show competitive due to be even lighter and require less acquisition cost for the user. To these features is added the fact that they show a much lower maintenance cost than hydraulic devices, making them favorite among the smaller companies.

KEYWORDS: Productivity, Cost drilling, rock drilling, hydraulic and pneumatic drill.

1. INTRODUÇÃO

A partir da observação in loco junto a pedreiras de gnaisses de diferentes tipos foi desenvolvido um estudo de tempos e movimentos visando medir o tempo de perfuração, tempo de ciclo (que inclui também o tempo de perfuração), Com esses dados é possível calcular a eficiência da operação, e a produção de cada máquina levando em consideração o tempo real trabalhado, descartando horas paradas. Realizamos o cálculo de custo de cada tipo de perfuratriz a partir de dados de pedreiras de rocha ornamental para obter o custo em reais por metro perfurado para avaliar cada perfuratriz e poder comparar o custo unitário entre as opções de perfuração.

2. CUSTO PERFURAÇÃO E EQUIPAMENTOS

Os custos de perfuração são expressos por metro de rocha perfurada (\$/m) e são a soma dos custos diretos e indiretos envolvidos neste processo. Eles incluem os custos de operação do equipamento, reparos, manutenção, aquisição de materiais e suprimentos, como energia. A

equação 1 resume todos os custos na mesma fórmula envolvendo a soma de todos eles divididos pela produtividade da perfuratriz (média da taxa de penetração do equipamento).

$$C_{TD} = \frac{C_A + C_I + C_M + C_O + C_E + C_L + C_B}{P_r} \quad (1)$$

Onde:

- CTD: custo total de perfuração (\$/m);
- CA: depreciação (\$/h);
- CI : taxa de juros (\$/h);
- CM: manutenção e reparos (\$/h);
- CO: mão de obra (\$/h);
- CE: combustível ou energia (\$/h);
- CL: óleo, graxa e filtros (\$/h);
- CB: bits, hastes (\$/h);
- Pr: produtividade da perfuratriz (m/h).

2.1 Taxa de penetração

A taxa de penetração se torna um importante parâmetro no cálculo dos custos. Sua determinação pode ser feita com auxílio de dados experimentais ou informações fornecidas pelo fabricante. Sabe-se que a resistência e dureza da rocha influenciam na taxa de penetração, sendo inversamente proporcional à resistência a compressão uniaxial da rocha (UCS). (Jimeno et al., 1995) . A equação 2 (Hartman, 1990) é um exemplo de fórmula experimental.

$$V_d = \frac{\Delta V / \Delta t}{A} \quad (2)$$

Onde:

- V_d é a taxa de penetração experimental
- $\Delta V / \Delta t$ é a média de volume removido em um intervalo de tempo (m^3/h)
- A é a área do furo (m^2)

2.2 Perfuração rotopercussiva

As perfuratrizes rotopercussivas vêm ganhando campo de aplicação nas rochas de alta resistência por propiciar maiores velocidades de perfuração quando comparadas com o método rotativo. Estas perfuratrizes possuem dois sistemas de acionamento básicos, rotação e percussão. Estas duas forças são transmitidas através da haste para o bit de perfuração. Os martelos podem ter acionamento pneumático ou hidráulico, e são localizados na superfície sobre a lança da perfuratriz, conforme Figura 1:

Figura 1– Perfuratriz Fravizel MPL-3M com três martelos acoplados utilizada nos testes de perfuração e tempo de ciclo.



Fonte : Autor.

O surgimento dos martelos hidráulicos na década de 70 deu novo impulso a este método de perfuração, ampliando o seu campo de aplicação. Por muitos anos estes equipamentos foram operados, exclusivamente, usando martelos pneumáticos. Nos últimos 15 anos máquinas hidráulicas têm sido introduzidas no mercado. O alto custo de capital das perfuratrizes hidráulicas é compensado por uma maior produtividade quando comparadas com máquinas pneumáticas (Crosby, 1998)

2.3 Perfuratriz Girodril 200 (hidráulica)

A perfuratriz Girodrill 200 (figura 2) é uma unidade móvel de perfuração hidráulica, totalmente independente, e adequada para perfuração vertical em qualquer piso inclinado e em qualquer tipo de rocha. Ela é constituída por uma unidade de perfuração colocada sobre o braço de um veículo condutor. É equipada com dois andarilhos hidráulicos, a unidade hidráulica pode girar 90 ° na vertical e 25 ° na inclinação horizontal. Os furos que são produzidos são alinhados verticalmente por um ângulo indicador na base da unidade e podem ter um diâmetro entre 22 a 45 mm utilizando dois martelos hidráulicos com pressões de 90 ate 130 bar.

Figura 2 – Perfuratriz Girodrill 200 em operação na pedreira



Fonte: Autor.

As quatro pernas estabilizadoras hidráulicas permitem o levantamento e o deslocamento em situações difíceis e garantem o funcionamento sem deslocamento do equipamento. Todas as operações de perfuração e deslocamento podem ser efetuadas por rádio através de um painel de controle remoto. O painel de controle remoto permite simplificar o uso da perfuratriz e ao mesmo tempo garante um trabalho mais seguro permitindo ao operador verificar a máquina a uma distância adequada. Ela opera com dois martelos hidráulicos independentes.

2.4 Perfuratriz MPL-3M (pneumática)

É uma perfuratriz construída pela empresa Fravizel de Portugal. Este equipamento destina-se a perfurações em linha em blocos de pedra, com o intuito de “aparelhar”, acertar ou reduzir esses mesmos blocos. Ela trabalha com três martelos independentes movidos a ar comprimido.

Existe um controle remoto do painel de controle que permite a operação do equipamento a uma distância adequada garantindo uma maior segurança de trabalho, uma menor exposição aos perigos, aos acidentes e a poluição acústica.

Utiliza ar comprimido operando na pressão de 6 bar. O equipamento é compacto e leve, em contrapartida o consumo de ar é alto gerando assim um alto custo. Boa parte da energia gasta para a compressão do ar é perdida na forma de calor e o trabalho útil que ele pode fornecer é pequeno em relação a essa energia gasta.

Figura 3 – Perfuratriz MPL-3M em operação na perfuração de gnaisses ornamentais



Fonte: Autor.

3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Os dois tipos de tecnologias de perfuração comparadas no presente estudo foram:

- Perfuratriz hidráulica com dois martelos e maior pressão de perfuração em relação à perfuratriz pneumática.
- Perfuratriz pneumática sobre esteiras com três martelos.

Através da medição do tempo de ciclo e de taxa de penetração pode-se avaliar a performance de cada um dos dois equipamentos de perfuração determinando por meio dos parâmetros citados os custos unitários de operação, custo total e produção.

3.1 Método de lavra

O método de lavra estudado foi o de lavra a céu aberto em bancadas altas. Para a lavra aplicada em maciço rochoso, a extração é realizada através do tombamento de pranchas, utilizando-se a tecnologia da máquina de fio diamantado conjugado ao uso perfuratrizes para produção de blocos de 1,9 X 2,0 X 3,0 m. A etapa de operação analisada foi à produção de blocos individualizados com dimensões comercializáveis, normalmente predeterminadas, extraídos de pranchas tombadas (figura 4).

Figura 4 - Tombamento de pranchas



Fonte: Autor.

3.2 Corte e perfuração da prancha

O processo consiste no desmonte da rocha através de cortes verticais e horizontais executados por fio diamantado, isolando pranchas para posterior obtenção dos blocos. Após o tombamento da bancada, esta passa a ser chamada de prancha e a partir daí entram em ação as perfuratrizes para recorte de blocos retangulares. Esse processo é desenvolvido com auxílio de perfuratrizes com diâmetro de 34 mm (figura 5). É realizada uma sequência de furações verticais, alinhadas entre si e espaçadas com cerca de 0,10 m, criando um plano de fraqueza na rocha, ao longo de uma extensão definida, que auxiliará o corte no momento da operação de bate-cunha para criar superfícies de ruptura (figura 6).

Figura 5 - Colocação das cunhas



Fonte: Autor.

Figura 6 - Operação de bate cunha criando um plano de fraqueza na rocha para seu fraturamento em uma direção



Fonte: Autor.

3.3 Medição de tempo de ciclo das perfuratrizes

Foram realizadas vinte medições de tempo de ciclo de cada perfuratriz na etapa de perfuração de pranchas de Gnaisse Ornamental de 1,9 metros de altura para obter uma média aritmética dos tempos propostos. A medição de tempo de ciclo das perfuratrizes constou do levantamento dos tempos das seguintes operações elementares:

- Alinhar broca
- Perfuração
- Retirada da broca
- Deslocamento para próximo furo

3.4 Consumo das perfuratrizes

Foi feito o cálculo de consumo de diesel e energia baseado em tabelas de controle de consumo e da taxa de penetração baseado no tempo de perfuração para os dois tipos de perfuratrizes.

3.4.1. *Tempo de ciclo e eficiência da MPL-3M*

O tempo de ciclo médio da perfuratriz pneumática MPL-3M foi medido levando em consideração vários fatores como deslocamento entre furos, alinhamento de haste, tempo de perfuração e retirada do bit. Os resultados médios do levantamento são apresentados a seguir:

- Alinhar haste: 12"
- Perfuração: 2' 24"
- Retirada do bit: 13"
- Deslocamento para próximo furo e patolamento: 7"

O tempo de ciclo total médio foi de 176 segundos ou 2 minutos e 56 segundos.

A Produção horária média medida observada nas planilhas de acompanhamento foi de 33,32 furos de 34 mm por hora para os três martelos pneumáticos na MPL-3M. Para este tempo de ciclo teoricamente seriam 61,36 furos. Por isso, calculamos que a cada ciclo perdemos 148 segundos de produção efetiva com outros tipos de manobra como troca de hastes e bits, deslocamento para linha de furos e eventualidades. A eficiência determinada para a perfuratriz MPL-3M é cerca de 54,3%.

3.4.2. *Tempo de ciclo e eficiência da perfuratriz Girodrill*

O tempo de ciclo de uma perfuratriz hidráulica Girodrill medidos no material ornamental foi em média de:

- Alinhar broca: 11"
- Perfuração: 1'e 14"
- Retirada da broca: 11"
- Deslocamento para próximo furo: 6"

O tempo de ciclo total médio foi de 102 segundos ou 1 minuto e 42 segundos.

A Produção horária média medida observada em planilhas de acompanhamento foi de 35,81 furos de 34 mm por hora para os dois martelos hidráulicos na Girodrill. Para este tempo de ciclo teoricamente seriam 70,59 furos. Por isso, calculamos que a cada ciclo perdemos cerca de 99 segundos de produção efetiva com outros tipos de manobra como troca de hastes e bits, deslocamento para linha de furos e eventualidades. A eficiência determinada para a perfuratriz Girodrill é cerca de 50,7 %

3.4.3. *Taxa de penetração*

O cálculo da taxa de penetração levou em conta o tempo de bits novos em perfuração para um diâmetro de 34,5 mm dos bits. A fórmula para determinação da velocidade de penetração utilizada no presente trabalho é:

$$V_d = \frac{\Delta V / \Delta t}{A}$$

Onde: V_d é a taxa de penetração experimental
 $\Delta V / \Delta t$ é a média de volume removido em um intervalo de tempo (mm³/seg)
 A é a área do furo (mm²).

A seguir são apresentados os resultados obtidos nos levantamentos de campo para os diversos tipos de gnaisses ornamentais avaliados.

Perfuratriz MPL-3M - Pneumática (Granito Ornamental): $V_d = 1900 \times (17,3^2 \times 3,14) / 144 / 17,3^2 \times 3,14 = 13,19 \text{ mm/seg}$

Perfuratriz Girodrill – Hidráulica (Granito Ornamental): $V_d = 1900 \times (17,3^2 \times 3,14) / 84 / 17,3^2 \times 3,14 = 22,62 \text{ mm/seg}$

3.5 Determinação do Custo total

Para determinação do custo total de perfuração foi utilizada a fórmula apresentada a seguir.

$$C_{TD} = \frac{C_A + C_I + C_M + C_O + C_E + C_L + C_B}{P_r}$$

Onde:

- CTD: custo total de perfuração (\$/m);
- CA: depreciação (\$/h);
- CI : taxa de juros (\$/h);
- CM: manutenção e reparos (\$/h);
- CO: mão de obra (\$/h);
- CE: combustível ou energia (\$/h) ;
- CL: óleo, graxa e filtros (\$/h);
- CB: bits, hastes (\$/h);
- Pr: produtividade da perfuratriz (m/h).

Para a determinação do custo de perfuração das perfuratrizes utilizou-se os parâmetros econômicos descritos a seguir para determinação do custo unitário de operação, parâmetro esse que pode ser utilizado para comparação da performance de equipamentos similares, no caso, perfuratrizes de rocha.

3.5.1. CA: Depreciação (Método das Horas)

Este método consiste em estimar o número de horas durante o tempo de vida útil previsto para o bem. Estimou-se 10 anos de vida para as duas perfuratrizes ou 87.600 horas.

Depreciação Girodrill = 1.080.000 R\$ / 87.600 h = 12,33 R\$/h

Depreciação MPL-3M = 350.000 R\$ / 87.600 h = 3,99 R\$/h

3.5.2. CJ: Taxa de juros

Foi estimada uma taxa de juros de 12% a.a para os cálculos de custo de capital horário, conforme é apresentado a seguir para as duas perfuratrizes:

Taxa juros perfuratriz Girodrill = 1.080.000 R\$ x 0,001388 % / hora = 15,00 R\$/ hora

Taxa juros perfuratriz MPL-3M = 350.000 R\$ x 0,001388 % / hora = 4,86 R\$/ hora

3.5.3. CM: Manutenção e Reparos

O gasto com manutenção e reparos da perfuratriz Girodrill gira em torno de 8 % do seu preço por ano segundo dados apurados na empresa. O gasto com manutenção e reparos da perfuratriz MPL-3M gira em torno de 6 % do seu preço por ano. Dessa forma estimou-se o custo com manutenção da Girodrill em cerca de R\$ 80.000 /ano e da MPL-#M em R\$ 20.000 /ano. Para um regime de trabalho de 5.200 horas por ano temos:

Gasto com manutenção e reparos da perfuratriz Girodrill igual a 9,13 R\$ / h

Gasto com manutenção e reparos da perfuratriz MPL-3M igual a 2,28 R\$ / h

3.5.4. CO: Mão de Obra

Para ambos os equipamentos é disponibilizado um funcionário com custo mensal médio de 3.000 reais com escala de 180 horas mensais, ou seja, um custo em torno de 16,66 R\$ / h.

3.5.5. CE: Consumo de Energia

O consumo da perfuratriz pneumática Girodrill foi estimado em cerca de 10,3 litros por hora efetiva trabalhada, somente na perfuração. O custo com o combustível, levando-se em consideração que o preço do Diesel no estado do Espírito Santo está em cerca de R\$ 2,35 define um custo horário de 24,20 R\$ / hora efetiva trabalhada. O consumo de um compressor rotativo utilizado para alimentar a perfuratriz MPL-3M que consome em torno de 200 m³/h de ar é de 24 kwh/h para alimentar um martelo, ou seja, uma MPL-3M, que tem três martelos consome em torno de 600 m³ / h de ar comprimido. Como o custo do KWh no estado do Espírito Santo custa R\$ 0,43 já levando em consideração os impostos, a MPL-3M gasta R\$ 10,32 / hora efetiva trabalhada por martelo ou R\$ 30,96 / h para o conjunto de três martelos da perfuratriz.

3.5.6. CL: óleo, graxa e filtros (R\$/h):

A perfuratriz MPL-3M consome em torno de 0,2 R\$/h

A perfuratriz Girodrill consome em torno de 0,3 R\$/h

3.5.7. CB: bits, hastes (R\$/h):

- Bits : O preço de cada bit é de R\$ 46,88. Um bit dura em torno de seis afiações na perfuratriz pneumática (cerca de 171 metros lineares) e em torno de quatro na Girodrill (cerca de 114 metros lineares). Com estes números obtemos o consumo horário de cada perfuratriz em relação aos seus respectivos bits.

A perfuratriz MPL-3M: consome 0,37 bits / h, que gera despesa de 17,19 R\$ / h

A perfuratriz Girodrill: consome 0,63 bits /h que gera despesa de 29,44 R\$ / h

- Haste: O preço de uma haste de 3,2 m é de R\$ 273,76

Perfuratriz MPL-3M: por dados experimentais na pedreira chegamos a um consumo de em média 1 haste a cada 2.751 metros lineares ate a sua quebra. Como a MPL-3M faz 33,32 furos / h cada furo a 1,9 metros de profundidade, ou seja, 63,3 metros lineares / h, calculamos que demora em torno de 43,46 horas para se quebrar uma haste de forma que o custo com haste é de 6,30 R\$ / h

Perfuratriz Girodrill: por dados experimentais na pedreira chegamos a um consumo de em média 1 haste a cada 1870 metros lineares ate a sua quebra. Como a Girodrill faz 41,05 furos / h cada furo a 1,9m de profundidade, ou seja, 78 metros lineares / h, calculamos que demora em torno de 24 horas para se quebrar uma haste de forma que o custo com haste é de 11,42 R\$ / h

CB: bits, hastes, luvas (MPL-3M) = 23,49 R\$/h

CB: bits, hastes, luvas (Girodrill) = 40,88 R\$/h

3.5.8. Pr: produtividade da perfuratriz (m/h).

Para este parâmetro utilizamos a produção real de tabelas de produção.

Para a perfuratriz pneumática teremos 33,32 furos por hora que nos dá 63,3 m/h

Para a perfuratriz Girodrill teremos 35,81 furos por hora que nos dá 68,04 m/h

3.5.9. Custo total da perfuração - CTP

CTP (perfuratriz MPL-3M) = 1,30 R\$/m

CTP = 3,99 R\$/h + 4,86 R\$/h + 2,28 R\$/h + 16,66 R\$/h + 0,2 R\$/h + 30,96 R\$/h + 23,49 R\$/h = 82,44 R\$/h / 63,3 m/h = 1,30

CTP (perfuratriz Girodrill) = 1,74 R\$/m

CTP = 12,33 R\$/h + 15,00 R\$/h + 9,13 R\$/h + 16,66 R\$/h + 0,3 R\$/h + 24,20 R\$/h + 40,88 R\$/h = 118,50 R\$/h / 68,04 m/h = 1,74

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em princípio básico, a disposição em que se encontra a bancada influencia na escolha da perfuratriz. Se a bancada estiver muito inclinada não é indicado o uso da MPL-3M, pois diminuiria a pressão de perfuração, além da dificuldade de se colocá-la em cima da prancha. Por isso, se a inclinação for maior do que 30°, é mais indicado o uso da Girodrill. Por isso apesar do seu custo elevado, a Girodrill pode ser uma boa escolha de aquisição, principalmente em materiais de alto valor agregado, pois mesmo que pequena, uma produção maior pode ser vantajosa.

O tempo de deslocamento da MPL-3M de uma prancha para outra é o principal fator negativo para este equipamento, pois depende de equipamentos auxiliares para seu transporte (figura 7), uma carregadeira de médio porte ou uma escavadeira, fazendo com que seu deslocamento seja mais lento do que a perfuratriz hidráulica Perfora Girodrill, além de se deslocar estes equipamentos (carregadeira ou escavadeira) de suas atividades principais.

O deslocamento da MPL-3M em cima da prancha é exclusivamente feito pelas esteiras do próprio equipamento que não é tão ágil quanto à lança da Girodrill. O tempo de deslocamento em cima da prancha da MPL-3M é mais demorado do que o tempo de deslocamento da lança da Girodrill, fazendo com que a MPL-3M perca mais tempo na produção efetiva como vimos nos comparativos. Estes fatores fazem com que a MPL-3M perca 148 segundos por ciclo enquanto a Girodrill perde somente 99 segundos por ciclo. Em contra partida a produção horária da MPL3 em cima de uma prancha chega a ser quase igual a da Girodrill. Isso se deve ao número de martelos que a MPL-3M tem (um a mais), fazendo com que ela sustente sua produção horária em cerca de

O custo da perfuratriz MPL3 é um fator positivo, pois é mais baixo do que o da Girodrill e consegue ter uma produção horária relativamente próxima a da Girodrill.

A perfuratriz Girodrill leva vantagem na maior produção, maior autonomia de trabalho podendo trabalhar em situações que a MPL-3M não pode como, por exemplo, bancadas inclinadas e em seu deslocamento, Em contra partida sua manutenção é muito cara. Por se tratar de uma máquina montada com peças importadas e caras é demorada a importação de certas peças de reposição e as taxas são muito altas por causa do seu valor elevado.

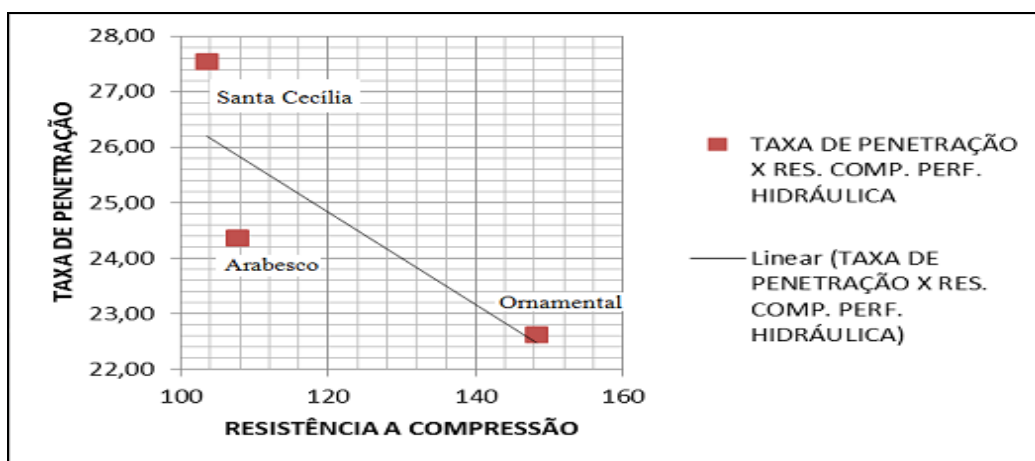
Em casos em de rochas com alto valor de mercado podemos avaliar que a Girodrill leva vantagem em cima da perfuratriz MPL-3M, pois se a Girodrill produzir um bloco a mais por dia ela com certeza pagará a diferença de preço e custo em pouco tempo

Comparando-se as performances e custos a perfuratriz Girodrill leva vantagem por ter maior produção e maior autonomia, mas podemos perceber, por exemplo, que se tivermos determinada situação em uma pedra onde se encontram quatro MPL-3M e três Girodrill, vamos obter uma produção horaria maior para grupo de quatro MPL-3M em relação ao grupo de três Girodrill, ou seja, 133,28 furos por hora contra 107,43 furos do grupo Girodrill com praticamente o mesmo custo de perfuração para os dois grupos, em trono de R\$ 5,20 / h.

Notamos que com este panorama a MPL-3M leva vantagem quando se é levado em consideração custo por produção. Claro que este é um caso que pode ser aplicado em qualquer mineradora de rocha ornamental, mas não é conclusivo em vista de outras variáveis citadas anteriormente como disposição da prancha, deslocamento e autonomia do equipamento e o custo de aquisição de equipamentos auxiliares para a perfuratriz MPL-3M como compressores e carregadeiras. O ideal é sempre ter os dois equipamentos disponíveis na lavra.

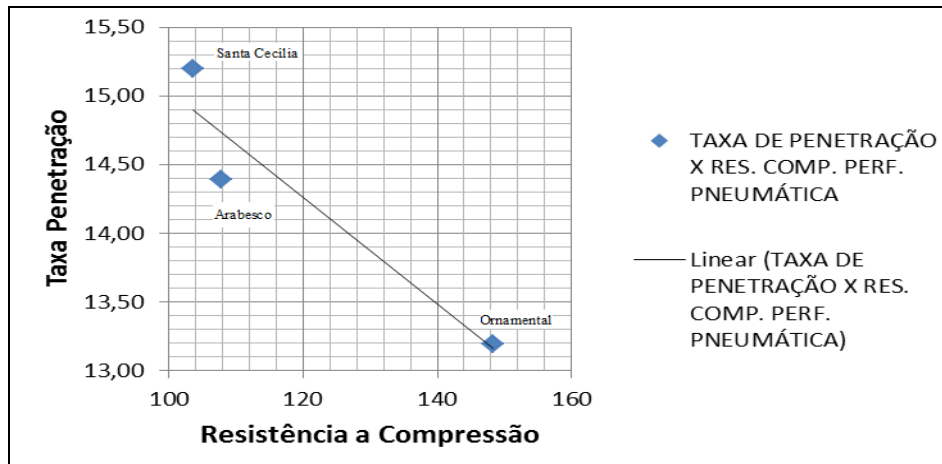
De acordo com os gráficos a seguir podemos perceber que a taxa de penetração esta diretamente ligada à resistência a compressão da rocha a ser perfurada. No gráfico 1 podemos perceber que o gnaisse Ornamental que tem sua resistencia em torno de 150 Mpa tem uma taxa de penetração menor do que para o gnaisse Santa Cecilia. A taxa de penetração é maior neste gráfico do que do que a taxa do gráfico 2, pois para os mesmos materiais esta taxa foi obtida com a perfuratriz Girodrill enquanto a taxa de penetração do grafico 2 foi obtida com a perfuratriz MPL-3M.

Gráfico 1: Relação e taxa de penetração da perfuratriz Girodrill e resistência à compressão dos gnaisses estudados



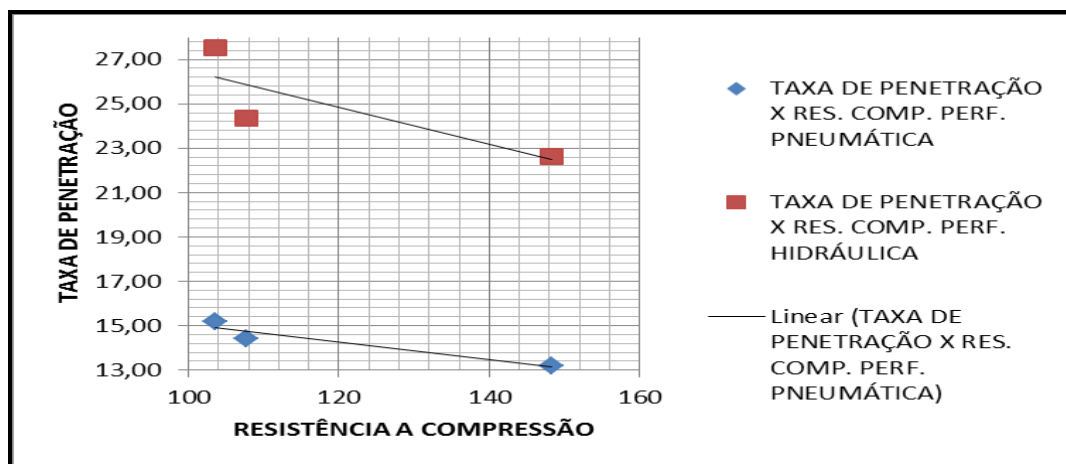
Fonte: Autor.

Gráfico 2: Relação e taxa de penetração da perfuratriz MPL-3M e resistência a compressão dos gnaisses estudados.



Fonte: Autor.

Gráfico 3: Comparação das taxas de penetração das perfuratrizes MPL-3M e Girodrill em relação à resistência à compressão dos gnaisses estudados



5. CONCLUSÕES

A perfuratriz MPL-3M leva vantagem em relação à perfuratriz Girodrill por apresentar um custo de investimento menor e apresentar um custo unitário de perfuração menor do que a Girodrill, porém a Girodrill é um equipamento mais moderno, com maior autonomia e com mais recursos do que a MPL3 e que na relação custo-benefício, tem uma produção maior.

Embora os modelos hidráulicos conquistem cada vez mais usuários e avancem no país, os pneumáticos ainda se mostram competitivos em função de serem mais leves e de exigirem menor custo de aquisição por parte do usuário. A essas características se soma o fato de apresentarem um custo de manutenção muito menor que as carretas hidráulicas, o que as torna preferidas entre as empresas de menor porte.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

JIMENO, C. L.; JIMENO, E. L.; FRANCISCO J. A. C. (1995). Drilling and Blasting of Rock. Instituto Geologico y Minero de Espanã. Traduzido para o inglês. 300 pp.

HARTMAN, H. L.; BAUER E. e CROSBY W.A. In: KENNEDY, B. A. (1990). Surface Mining. 2ª edição. Society of Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. p 513-524; 540 565.

KAHRAMAN, et al. (2003) Dominant rock properties affecting the penetration rate of percussive drills. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, V 40, p.711-723.

KAHRAMAN, S. (1999) Rotary and Percussive drilling prediction using regression analysis. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, V 36, p.981-989.

Manual Técnico: PERFORA GIRODRILL 200

Manual técnico FRAVIZEL (MARTELOS MP100)

VIABILIDADE TÉCNICA/ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO DE LAVRA DE PAINÉIS VERTICAIS EM COMPARAÇÃO COM O MÉTODO DE BANCADA REGULARES PARA ROCHAS ORNAMENTAIS.

Rodrigo Carneiro Novaes¹, Gleicon Roberto De Sousa Maior²

¹ Estudante, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo-Campus Cachoeiro De Itapemirim

² Professor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo-Campus Cachoeiro De Itapemirim

rodrigo.carneironovaes@gmail.com

RESUMO

Os métodos de lavra para rochas ornamentais vêm indiscutivelmente evoluindo com o avanço das tecnologias empregadas. O amadorismo cada dia mais vem dando espaço a inovações tecnológicas na mineração. Em meio a tantos avanços, as aplicações das novas tecnologias em relação a demanda de produção exigida pelo mercado deve ser avaliada e estudada em cada caso. A implementação do método de lavra de bancadas baixas e altas regulares, até 20 metros de altura, é indiscutivelmente o mais utilizado atualmente, tendo em vista sua praticidade, popularidade e boa aplicabilidade tanto em encostas quanto em cavas. A implementação do método de lavra de painéis verticais (ou bancadas ultra-altas – BUA's), bancadas com mais de 20 metros de altura podendo chegar a mais de 70 metros, vem ganhando espaço no mercado. Verificado por estudos sua relação custo X benefício positiva, e tendo em vista sua alta produtividade, sua viabilidade econômica se destaca em relação as bancadas regulares. O estudo visa comparar e apresentar diferenças, pontos positivos e negativos de ambos métodos, justificando e exemplificando suas aplicações em situações corriqueiras da mineração por meio de estudos técnicos e apresentações de tabelas comparativas para casos específicos de empresas de mineração que vivenciam esta realidade e aplicam estes métodos em suas próprias lavras de rochas ornamentais.

PALAVRAS-CHAVE: Rocha ornamental, Mineração, Método de lavra, Bancada Ultra Alta.

ABSTRACT

The mining methods for ornamental rocks have arguably evolving with the advancement of technologies applied. The amateurism more each day has given space to technological innovations in mining. Amid so many advances, the application of new technologies for the production demand required by the market should be evaluated and studied in each case. The implementation of the mining method of low and regular high slopes, up to 20 meters high, is arguably the most widely used, in view of its practicality, popularity and good applicability both on slopes as on holes. The implementation of the mining method of vertical panels (or ultra high benches), slopes whit over 20 meters high reaching more than 70 meters, has been gaining space in the market. Verified by studies, their good cost X benefit ratio, and in view of its high production, its economic viability stands out from the regular slope method. The study aims to compare and display differences, strengths and weaknesses of both methods, explaining and justifying their applications in everyday mining situations through technical studies and presentations of comparative tables for specific cases of mining companies who experience this reality and apply these methods in their own mines of ornamental rocks.

KEYWORDS: Ornamental rock, Mining, Mining method, Ultra high benches, vertical panels.

1. INTRODUÇÃO

A relação entre homem e rocha vem de cerca de 1,5 milhões de anos, quando a rocha era utilizada apenas como um artefato lítico. A utilização da rocha com um caráter ornamental foi iniciado a cerca de 4500 a.C (CAMPELO, 2006). Com a evolução histórica o uso das rochas foi modificado e sua aplicação foi aumentando para diversas outras atividades, dentre elas a aplicação de rochas com caráter ornamental.

Atualmente o Brasil vem se destacando na produção de rochas ornamentais ocupando a posição de um dos cinco maiores produtores do mundo. O estado do Espírito Santo possui maior destaque dentre aqueles que fazem a exploração de tais bens mineras contribuindo com aproximadamente 47% da produção nacional. As rochas ornamentais tem sua aplicabilidade relacionada a construção civil, setor que tem seu crescimento reconhecido a nível nacional e mundial. Portanto, a demanda na produção de rochas permanece ascendente, tanto para o mercado interno, com São Paulo absorvendo quase 50% do mercado nacional, como o mercado

externo. A exploração de rochas ornamentais no Brasil vem utilizando o métodos convencionais de lavra, com perfuração e corte com fio diamantado com bancadas regulares (MAIOR, 2013). Atualmente um novo método de lavra vem sendo aplicado no norte/noroeste do Espírito Santo, utilizando o método de painéis verticais/bancadas ultra altas (BUA), onde estas podem chegar à 70 metros de altura.

Este método vem atendendo bem a grandes produtores, tendo vista a alta produtividade, além de sua aplicação estar relacionada a ambientes topográficos desfavoráveis a aplicação dos métodos convencionais de bancadas regulares.

2. BANCADAS ULTRA ALTAS

O método de bancadas ultra altas é um método relativamente novo, que vem sendo aplicado em pedreiras de granito no norte/noroeste do estado do Espírito Santo (vide figura 1). A aplicação do método de lavra tem ganhando cada vez mais espaço dentre os métodos de lavra conhecidos, por ter como características sua alta produtividade e boa aplicabilidade relevos acidentados e principalmente em encostas íngremes (MAIOR, 2013). A sua alta produtividade está relacionada diretamente a altura das bancadas utilizadas, estas são superiores a 20,0 metros, podendo chegar alturas superiores à 70,0 metros, dependendo do relevo de onde se planeja realizar a atividade extrativa.

O método demanda da utilização de equipamentos específicos para sua aplicação, além de treinamento das equipes de trabalho para sua execução correta e segura.



Figura 1 – Painéis verticais encontrados no Noroeste do Espírito Santo (MINERAÇÃO GUIDONI, 2016).

2.1 Método de lavra

O método de lavra se assemelha ao utilizado em bancadas convencionais. Porém, como as bancadas tendem a chegar até 70,0 metros, algumas adaptações nos equipamentos e nas técnicas se fizeram necessárias.

O primeiro estágio é a perfuração, são necessários furos verticais e horizontais concorrentes, de modo que estes dimensionem o quadrote que se deseja lavar. Os desafios do método se iniciam nesta etapa, uma vez que, quando ultrapassam 10 metros de alturas, furos realizados com martelotes pneumáticos, ou mesmo carretas de perfuração sofrem um desvio significativo (GERALDI, 2011), dificultando assim o encontro do furo horizontal com o vertical necessário para a passagem do fio diamantado. Estes desafios foram contornados com o treinamento correto para a equipe para trabalho em altura, e a utilização de sondas para realização da perfuração, uma vez que estas apresentam um desvio muito menor, comparados a outras técnicas de perfuração.

O corte que realiza o desprendimento do quadrote do maciço é feito com fio diamantado, assim como nas bancadas convencionais, mudando apenas a dimensão do fio, e conseqüentemente a sua torção. Para passagem deste é utilizado um cabo guia usualmente de nylon nos furos, impulsionado por um compressor de ar, para que este encontre a outra saída do furo após o junção dos furos verticais e horizontais. Após esta etapa amarra-se o fio diamantado ao cabo guia para que ele percorra o mesmo trajeto. Então, o fio diamantado é acoplado as polias e suas extremidades são fixadas por sistema de anéis sobre pressão a fim de que não haja pontos de fraqueza do fio possibilitando uma maior efetividade do corte.

O sistema de corte com fio diamantado é previamente montado em função do corte desejado, o fio também deve passar por um processo de torção, cerca de 1,5 a 2 vezes por metro de fio, para que promova o desgaste homogêneo das pérolas. O corte então é iniciado em baixa velocidade, e com o fluxo de água aumentado, até o arredondamento das quinas, locais com maior quantidade de tensão e conseqüentemente locais de maior desgaste do fio diamantado. Depois o fluxo deve ser normalizado, e a velocidade deve ser aumentada até atingir a velocidade linear do fio ao tipo de material cortado (MARCON et al, 2014).

Após o corte, o quadrote deve estar totalmente desprendido do maciço, para que se inicia a fase de tombamento, uma vez que os métodos convencionais não se aplicam devido a dimensão elevada da prancha. Neste caso é utilizado o desmonte do tipo de boca de lobo, é necessário uma perfuratriz que realize furo horizontais e furos inclinados em 30º na frente da prancha, os furos devem se encontrar no fim da dimensão esperada para a prancha, obtendo um formato de cunha,

(vide figura 2), para facilitar a derrubada da prancha, é feito um corte paralelo a linha de furos inclinados (VIDAL et al, 2014).

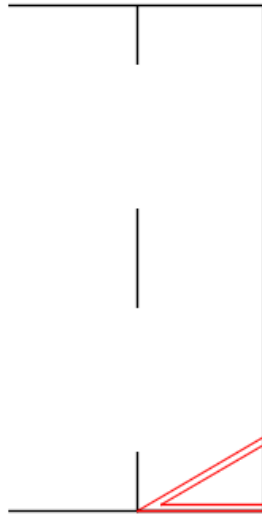


Figura 2 – Perfuração para o desmonte do tipo boca de lobo (adaptado de VIDAL et al, 2015).

É utilizado pólvora negra como explosivo, já que apresenta características compatíveis com o método, como baixa velocidade, evitando o trincamento desnecessário do quadrote, e alta liberação de gases, o que facilita na expulsão de detritos rochosos da cunha que sustentam a o quadrote (JIMENO et al, 2015). Após a detonação, a prancha deve se desestabilizar na direção em que a cunha foi feita, e tombar.

O tombamento deve ocorrer sobre uma cama levantada com terra e estéril da própria pedreira, com finalidade de amortecimento para que se diminuam as perdas por faturamento (MARCON, 2014 apud PINHEIRO, 2012).

Uma vez que o quadrote se encontra no chão, ele é dividido em pranchas e estas são novamente divididas em blocos de tamanho comercial (figuras 3 e 4).



Figura 3 – Prancha sendo esquadrejada em blocos (Fonte: Maior, 2013).

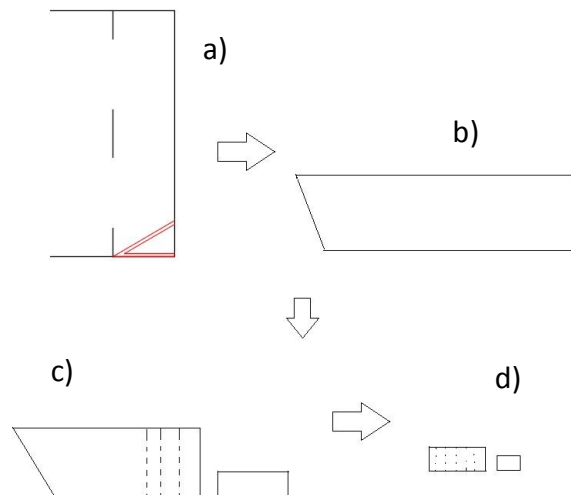


Figura 4 – Evolução do desmonte até etapa do bloco comercial. a) Uso da boca de lobo para derrubada do quadrote; b) Quadrote tombado; c) Corte secundário transformando quadrote em pranchas; d) esquadrejamento das pranchas em blocos.

2.2 Viabilidade técnica

Até hoje o método de bancada ultra altas para granitos carece de um acervo teórico específico, estudos estruturais próprios e equipamentos específicos. O avanço dos estudos na área vem com a finalidade de sustentar a prática do método e ainda aperfeiçoar.

O método tem sido aplicado em pedreiras com encostas de grandes dimensões verticais, o que impossibilitava o método convencional, uma vez que a altura das bancadas superavam os das bancadas convencionais, o que possibilitava as bancadas a continuar crescendo e prosseguindo na pedreira (vide figura 4).

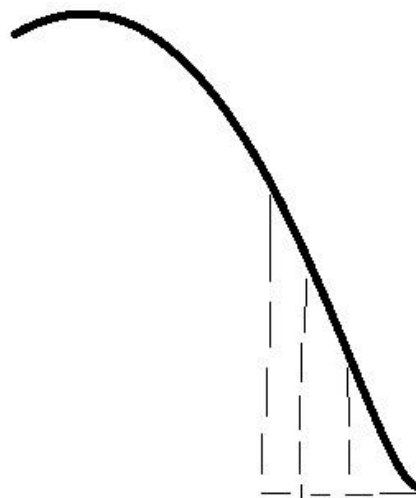


Figura 4 – Perfil esquemático apresentando o avanço progressivo das bancadas.

O método tem obtido boa repercussão em casos onde as tensões naturais dos maciços são altas. Em alguns casos se pode observar que, quanto menor a altura da bancada, maior as trincas

observadas na superfície da encosta onde ela foi retirada, isto pode ser explicado pelo princípio da tensão, $T=F/A$ (onde T é tensão; F é a força exercida; e A é a área submetida à carga), quanto menor a bancada menor a área da encosta onde se concentrariam as tensões induzidas no maciço. Foi observado que quanto utilizado método de bancadas ultra altas, estas deixavam uma área muito maior na encosta onde foram retiradas, deixando uma maior área para concentração de esforços, então diminuindo a tensão, e conseqüentemente as trincas.

Contudo a viabilidade técnicas do método só foi possível devido alguns avanços tecnológicos e técnicos no local de trabalho. Tornou-se necessário o treinamento da equipe responsabilidade na perfuração para trabalhos em altura, para que alcançassem as alturas necessárias através de treinamentos de trabalho em altura respeitando a NR-35. A utilização de sondas para perfuração para que se diminuíssem os desvios também foi necessária, uma vez que os marteletes pneumáticos possuem um desvio significativo que impede o encontro dos furos horizontais e verticais. A utilização do método veio acompanhado de uma grande produção de blocos, portanto se viu necessária a utilização de pás carregadeiras adaptadas para o carregamento de blocos, aumentando significativamente a velocidade da carga e saída de blocos da pedreira, uma vez que a grande quantidade de blocos ocupam uma grande área, congestionando assim o local de trabalho (figura 5).



Figura 5 – Pá carregadeira adaptada pra transporte de blocos.

2.3 VIABILIDADE ECONÔMICA

A viabilidade econômica do método é informada a seguir, onde é feita a comparação entre o método de bancada ultra alta e o de bancadas convencionais. Por exemplo, ao se utilizar o método convencional, não possui equipamentos de transporte de material de empréstimo. Portanto, o preço do levantamento da cama de amortecimento ficou maior por conta do aluguel

das máquinas, já a empresa que utiliza método de painéis verticais (bancada ultra alta) gasta somente com diesel e manutenção já que, geralmente, possui equipamentos próprios.

Desta forma, pode-se observar na tabela 1 os custos relacionados ao processo de exploração com relação ao corte da rocha com fio diamantado e confecção da cama de amortecimento (custos com insumos já estão incluídos), e os valores obtidos após a comercialização dos blocos produzidos.

Assim, pode-se alcançar uma estimativa confiável sobre os valores relacionados à ambos os métodos.

Tabela 1. - Tabela comparativa entre métodos de lavra com bancadas convencionais e com painéis verticais.

Parâmetros:	Bancada Convencional	Painéis Verticais
Dimensões (metros)	15x3x20	22x17x70
Área total de corte (metros ²)	405	3.104
Tempo total do ciclo (dias)	10	20
Volume do quadrote (metros ³)	900	26.180
Aproveitamento	60%	60%
Volume final (metros ³)	540	15.708
Metros de fio necessário	75	225
Custo médio de produção(R\$/metro ³)	300,00	300,00
Custo total por ciclo(R\$)	270.000,00	7.854.000,00
Preço do fio diamantado (R\$/metro)	353,70	353,70
Preço total com fio diamantado (R\$)	26.527,50	79.582,50
Preço levantamento da cama de amortecimento (R\$)	1.000,00*	800,00**
Preço de venda (R\$/metros ³)	650,00	650,00
Preço médio de venda dos blocos (R\$/ciclo)	351.000	10.210,200,00

* = Custo relacionado ao aluguel de máquinas para realização do serviço; **= Custo relacionado a manutenção/diesel das máquinas de propriedade da empresa.

Desta forma, faz-se possível observar que o método também é considerado viável economicamente, mesmo que com um custo significativamente maior comparado, cerca de 29 vezes maior do que o custo dos métodos convencionais. O número de blocos produzidos é cerca de 30,0 vezes maior com o acréscimo de 10 dias de trabalho, ou seja, o dobro do tempo necessário comparado com método convencional. Assim para produzir o mesmo volume de rocha com o método convencional, seriam necessários cerca de 145 dias.

Assim, pode-se observar que o método de painéis verticais (ou bancadas ultra-altas – BUA) apresenta uma maior efetividade quanto à velocidade de exploração do bem mineral dando ao empreendedor uma capacidade de reduzir o seu tempo de *payback* e maximizando os lucros envolvidos.

A relação entre os valores obtidos entre as vendas de uma bancada dos métodos convencionais e de bancadas com painéis verticais é de 29:1. Ou seja, faz-se necessários que 29 ciclos com bancadas regulares sejam realizados para se equiparar à 1 ciclo com painéis verticais.

3. CONCLUSÃO

Portanto, como pode ser observado o método de lavra para extração de granito através de painéis verticais com altura das bancadas ultrapassando os 70,0 metros é extremamente favorável visto que a produtividade é muito superior à dos métodos convencionais. Além disso, o seu uso tem sido muito difundido no Norte/Noroeste do estado do Espírito Santo devido ao fato de ser aplicável em terrenos acidentados onde com os métodos convencionais eram considerados como improváveis.

Assim, a aplicação desta nova tecnologia vem favorecendo ao estado do Espírito Santo aumentar a sua produção de rochas ornamentais de modo a transformar este estado como o principal produtor de granitos ornamentais no Brasil.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GERALDI, J. L. P. O ABC das escavações de rocha. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2011.

JIMENO, C. P.; JIMENO, E. L.; BERMÚDEZ, P. G.; **Manual de perforación y voladura de rocas.** Editora Carlos López Jimeno, Madrid, 2003.

MARCON, D. B.; CASTRO, N. F.; VIDAL, F. W. H.;. Estudo da Aplicação da Tecnologia de Corte de Fio Diamantado na Extração de Granitos Comerciais. In: **Anais do IV Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais/ VIII Símposio de Rochas Ornamentais do Nordeste**, Campina Grande – Paraíba – Brasil, 2012.

MAIOR, R. S. M.; Panorama da Mineração de Rochas Ornamentais no Estado do Espírito Santo com Ênfase na Lavra por Bancadas Ultra Altas. **Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral – PPGEMinas da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mineral**, Recife 2013.

MINERAÇÃO GUIDONI. http://www.guidoni.com.br/pt_BR/jazidas/santa-cecy-lia.html acessado em 25/02/2016.

REGADAS, I. C. M. C. Aspectos Relacionados às Lavras de Granitos Ornamentais com Fio Diamantado no Norte do Estado do Espírito Santo, Brasil. **Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Geotecnia**, São Carlos, 2006.

VIDAL, F. W. H.; PINHEIRO, J. R.; CASTRO, N. F.; CARANASSIOS, A. **Tecnologia de rochas ornamentais, pesquisa, lavra e beneficiamento.** Capítulo 4. Editora CETEM/MCTI, Rio de Janeiro, 2014.

ANÁLISE COMPARATIVA DO DESGASTE DE BITS E CUSTO DE PERFURAÇÃO EM GNAISSES ORNAMENTAIS COM PERFURAÇÃO HIDRÁULICA E PNEUMÁTICA

*Júlio César de Souza*¹, *Ladimílson Parra de Araújo*²

¹ Engenheiro de Minas, docente Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral

² Engenheiro de Minas, Professor - IFBA/ Campus Brumado

jcsouza@ufpe.br

RESUMO

O presente artigo foi elaborado a partir da observação in loco da operação de perfuração com utilização de perfuratriz pneumática e hidráulica, junto a pedreiras de gnaisses ornamentais. Foi desenvolvido um estudo de tempos e movimentos visando medir o desgaste de bits de 34 mm de face cônica e de botões balísticos em cada uma das perfuratrizes. Com esses dados foi possível calcular a vida útil desse insumo e sua influência nos custos de perfuração. Na operação de perfuração de rochas os principais mecanismos envolvidos são: rotação, percussão, alimentação e limpeza. Através da percussão e rotação a rocha é perfurada. A limpeza é importante tanto para retirada do material, permitindo o avanço da perfuração, como na redução da temperatura do conjunto de perfuração (haste, bit, colar), evitando o desgaste. Foi comparado o desgaste de bits em perfuração de diferentes tipos de gnaisses ornamentais com o acompanhamento de máquinas tipo Perfuratriz Hidráulica Perfura Girodrill e a Perfuratriz Pneumática sobre Esteiras modelo Fravizel MPL3. É importante compreender a influência das propriedades do material perfurado de modo que o desempenho da operação de perfuração e o desgaste de material e ferramentas de perfuração possa ser previsto e otimizado. Rochas diferentes têm diferentes propriedades que produzem diferentes taxas de desgaste para as ferramentas e insumos de perfuração. Com essa análise pode-se determinar o tipo de perfuração de rocha mais eficiente e que conduz ao menor custo de operação.

Palavras-chave: Desgaste de Bits, Perfuração de rochas, perfuratriz hidráulica e pneumática

ABSTRACT

This article was prepared from on-site observation of the drilling operation with use of pneumatic and hydraulic drilling, along with ornamental gneiss quarries. A time and move study was carried aiming at measuring the wear of 34 mm conical face bit and ballistic buttons in each of the drills. With these data it was possible to calculate the lifetime of this input and its influence on drilling

costs. In rock drilling operation the main mechanisms involved are: rotation, percussion, feeding and cleaning. The rock is perforated through percussion and rotation. Cleaning is important for removal of the material, allowing the advancement of the drilling, and reducing drilling assembly temperature (rod, bit, collar), avoiding wear. It was compared bit wear drilling in different types of ornamental gneisses with the accompaniment of Hydraulic Drilling Perfora Girodrill and Pneumatic Drilling on Track model Fravizel MPL3. It is important to understand the influence of the properties of the drilled material so that the performance of the drilling operation and wear of equipment and drilling tools can be predicted and optimized. Different rocks have different properties that produce different wear rates for the tools and drilling supplies. With this analysis we can determine the most efficient type of rock drill which leads to lower cost of operation.

KEYWORDS: Bit wear, rock drilling, hydraulic and pneumatic drill.

1. INTRODUÇÃO

A partir da observação in loco junto a pedreiras de gnaisses de diferentes tipos será desenvolvido um estudo de tempos e movimentos visando medir o desgaste de bits de 34mm de face cônica e de botões balísticos de cada máquina. Com esses dados será possível calcular a vida útil desse insumo. Na perfuração os principais mecanismos envolvidos são: rotação, percussão, alimentação e limpeza. Através da percussão e rotação a rocha é perfurada. A limpeza é importante tanto para retirada do material já quebrado, permitindo o avanço da perfuração, como na redução da temperatura do conjunto de perfuração (haste, bit, colar), evitando o desgaste.

2. INSUMOS UTILIZADOS

2.1 *Bits de Perfuração*

Nas operações acompanhadas foram utilizados bits da marca Atlas com diâmetro de 34 mm, utilizados nas operações de esquadrejamento das pranchas tombadas para obtenção dos blocos comerciais. Os bits usados são de face cônica que apresentam maior estabilidade na perfuração proporcionando furos mais retos e uma menor transmissão de vibração aos equipamentos pesando aproximadamente 0,242 Kg em média (figura 1).

Figura 1 - Bits 34 mm do tipo Button de face cônica e botão balístico



Fonte: Autor

Os botões dos bits são compostos por carboneto de Tungstênio que tem como características principais sua alta densidade, e grande fragilidade, consequência da dureza elevada dependendo do teor de ligante e do tamanho de grão do carboneto. As maiores durezas são conseguidas com baixos teores de ligante e tamanho de grão reduzido. Por outro lado maior tenacidade é obtida aumentando o teor de ligante e/ou aumentando o tamanho de grão. A resistência à compressão também se destaca, mas em contra partida não tem boa resistência à tração.

2.2 Hastes de extensão

Insumo usado na transmissão da rotação e percussão do martelo até o bit de perfuração (figura 2). São feitas de aço e seu comprimento é de 3,2 metros podendo chegar a 2,4 metros para sua utilização. Seu diâmetro é de aproximadamente 22,17 mm.

Figura 2 – Hastes de extensão utilizadas na perfuração dos gnaisses



Fonte: Autor.

2.3 Copo de moagem

O copo de moagem é um insumo utilizado para afiação do metal duro dos bits para os modelos esféricos e balísticos (figura 3). O modelo adequado é verificado com a medição da base do metal duro (botões), ou seja a altura dos botões.

Figura 3 - Copo de moagem balístico



Fonte: Autor.

Durante a operação de perfuração de rochas e em virtude da combinação de percussão, rotação, avanço e limpeza, os botões de metal duro (bits de carboneto de tungstênio) sofrem desgastes (achatamento) tanto nos botões frontais (internos ou centrais) como nos laterais (externos ou periféricos), ocasionando a perda do formato original do bit. Se estes achatamentos não forem corrigidos mediante afiação em intervalos regulares, poderão ocorrer uma série de problemas, tais como:

- Perda da velocidade de perfuração;
- Elevado risco de quebra dos botões;
- Maior dificuldade em restaurar a forma original do bit;
- Maior tempo de afiação;
- Maior tendência em desviar furos;
- Maiores desgastes na coluna de perfuração/equipamentos (vibrações nocivas, instabilidade do conjunto, etc.);
- Maior consumo de insumos empregados (rebolo, água, ar, energia elétrica, etc.);
- Maiores custos globais.

É fundamental um trabalho de afiação bem realizado para que se obtenha o máximo de produtividade do produto. A falta de controle na afiação correta dos bits pode resultar na perda de até 50% da vida útil do produto.

3. TIPOS DE ROCHAS AVALIADAS NO TRABALHO (GNAISSES)

Os gnaisses observados para realização desse estudo ocorrem na região do norte do estado do Espírito Santo, entre os municípios de Barra de São Francisco e Nova Venécia. A geologia que

envolve a região de interesse apresenta uma complexidade elevada, em virtude do alto grau de metamorfismo que atuou na região, aliada a sucessão de eventos desta natureza. As tabelas a seguir apresentam as características tecnológicas (propriedades físicas) e composição mineral dos gnaisses estudados no presente trabalho

3.1 Granito Amarelo ornamental

Tabela 1 - Características físicas do gnaisse Amarelo Ornamental

Características do gnaisse	Valor	Mineral	Teor (%)
Densidade Aparente	2631 Kg/ m ³	Microclina	55%
Compressão uniaxial	148,30 Mpa	Quartzo	25
Flexão	14,59 Mpa	Plagioclasio	10%
Porosidade Aparente	0,83%	Granada	5-10%
Desgaste amsler	0,87	Biotita<	< 5%

3.2 Granito Santa Cecília

Tabela 2 - Características físicas do gnaisse Santa Cecilia

Características do gnaisse	Valor	Mineral	Teor (%)
Densidade Aparente	2647 Kg/ m ³	Feldspato potássico	34
Compressão uniaxial	103,6 Mpa	Quartzo	25
Flexão	7,21 Mpa	Plagioclasio	20
Porosidade Aparente	0,86%	Granada	7
Desgaste amsler	0,6	Acessórios	4

3.3 Granito Arabesco

Tabela 3 -Características físicas do gnaisse Arabesco

Características do gnaisse	Valor	Mineral	Teor (%)
Densidade Aparente	2636 Kg/ m ³	Microclina micropertítico	33
Compressão uniaxial	107,80 Mpa	Quartzo	27
Flexão	7,89 Mpa	Plagioclasio	20
Porosidade Aparente	1,02%	Granada	10
Desgaste amsler	0,7	Biotita	7
		Acessórios	3

4. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

O método de lavra utilizado na Exploração dos gnaisses foi o de lavra a céu aberto em bancadas visando à produção de blocos individualizados com dimensões comercializáveis, normalmente predeterminadas. Para a lavra aplicada em maciço rochoso, a metodologia de lavra foi baseada no tombamento de pranchas em bancadas altas, utilizando-se a tecnologia da

máquina de fio diamantado conjugado ao uso perfuratrizes para produção de blocos de 1,9 x 2,0 x 3,0 m para posterior beneficiamento na produção de chapas.

Foram feitas as medições do diâmetro da face de 10 bits de 34,45 mm (de uma ponta de um botão a outra), para cada perfuratriz, a cada 15 furos de 1,9 metros (28,5 metros lineares) em cada material, avaliando-se assim o desgaste de cada bit no processo de perfuração e a vida útil de cada bit em cada tipo de perfuração levando em consideração que cada bit será amolado a cada etapa de perfuração realizada. As medições foram feitas com paquímetro digital antes de cada amolação (figura 4). Não foi levado em conta o desgaste com afiação, pois é insignificante com relação à medida proposta. Levou-se em consideração a media aritmética de todas as medidas.

Figura 4 - Bits antes e depois da afiação.



Fonte: Autor.

Também foram medidas as rotações das perfuratrizes e observou-se que ambas são parecidas, situando-se em torno de 350 RPM (figura 5). Os resultados médios da medição de rotação das perfuratrizes são apresentados na tabela 7 a seguir junto com as medições de pressão e intensidade de percussão.

Figura 5 - Medição da rotação com tacômetro.



Fonte: Autor.

Tabela 7 - Características das perfuratrizes

Perfuratriz	Rotação(RPM)	Pressão(bar)	Percussão (BPM)
Girodrill 200	358	100	4000
MPL-3M	350	6	2000

A pressão foi aferida com medidor de pressão presente na perfuratriz Girodrill e na saída do compressor (com desprezo da perda de carga) para a MPL-3M. A percussão foi obtida no manual de ambos os equipamentos não sendo determinada no estudo.

4.1 Medição de desgaste

A medição de desgaste de Bit foi feita antes de cada afiação e não foi considerado o desgaste com afiação, pois a amolação não interferiu no diâmetro dos bits. A medição foi feita de um botão a outro sempre na diagonal do bit (figura 6).

Figura 6 - Medição do desgaste do bit

Fonte: Autor.

4.2 Descarte dos bits

Para operação de perfuração os furos não podem ter menos que cerca de 31 mm de diâmetro, pois dificulta a entrada da cunha no furo prejudicando assim esta operação, além de prejudicar o processo de limpeza do furo. Foi usado um gabarito para medir a distancia lateral da ponta do botão ao corpo, esta não pode ter menos de 0,05 mm para não atrapalhar nesta limpeza (figuras 7 e 8). Utilizou-se estes parâmetros de medida na tomada de descarte dos bits 34 mm.

Figura 7 - Bit novo com distancia aceitável entre o topo do botão e seu corpo

Fonte: Autor.

Figura 8 - Bit descartado por não apresentar boas condições de limpeza do furo.

Fonte: Autor.

4.3 Cálculo Índice abrasividade Schimazek dos gnaisses

A abrasividade de cada gnaisse pode ser medida a partir do índice Schimazek multiplicando-se o teor de quartzo, tamanho médio cristal de quartzo e a resistência à tração dos materiais. Aplicando esse conceito chegamos aos resultados mostrados na tabela 8.

Tabela 8 - Índices Schimazek para os gnaisses

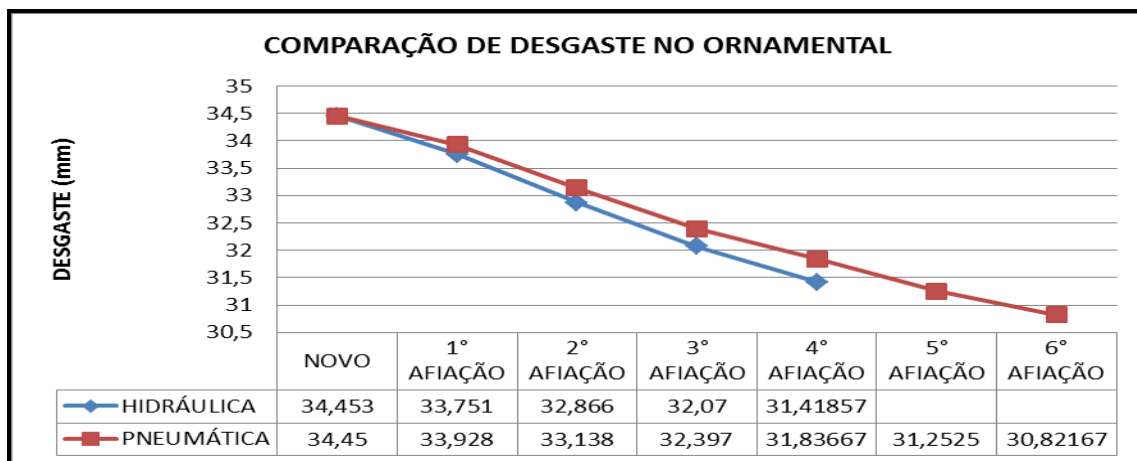
Gnaisse	Teor de quartzo	Tamanho médio cristal de quartzo (mm)	Resistência a tração	Índice Schimazek
Ornamental	0,25	4	14,59	14,59
Arabesco	0,27	7	7,89	14,91
Santa Cecília	0,25	9	7,21	16,22

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Comparação entre os desgastes da perfuratriz MPL-3M e Girodrill.

- Granito Ornamental

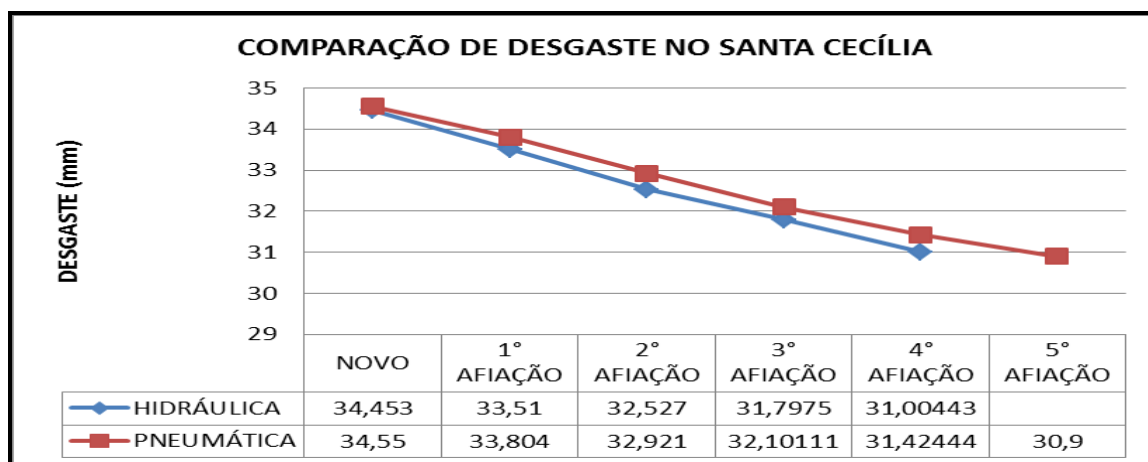
Gráfico 1: Média do desgaste de bits por etapa de afiação no Gnaise Ornamental



No gnaise ornamental, dois dos dez bits usados na perfuratriz hidráulica ficaram danificados. Eles soltaram o botão durante a 3ª e 4ª etapas de perfuração, ou seja, após a 3ª afiação do bit, demonstrando que a partir da 4ª afiação não é indicado trabalhar com bits nesta perfuratriz, pois os bits chegaram ao valor de descarte de 31 mm, diâmetro em que a limpeza do furo não ocorre com eficiência por causa distância entre o topo do botão e seu corpo, aumentando as chances de causar a quebra de hastes ou da perfuratriz, e também porque é diâmetro limite para entrada das cunhas, próxima etapa da produção dos blocos. Na perfuratriz pneumática três bits soltaram botão durante a 5ª e 6ª etapas de perfuração demonstrando que a partir da 6ª afiação, chega-se a vida útil destes bits. A partir da 6ª afiação não é recomendável, pois os bits chegaram ao valor de descarte de 31 mm.

- Granito Santa Cecília

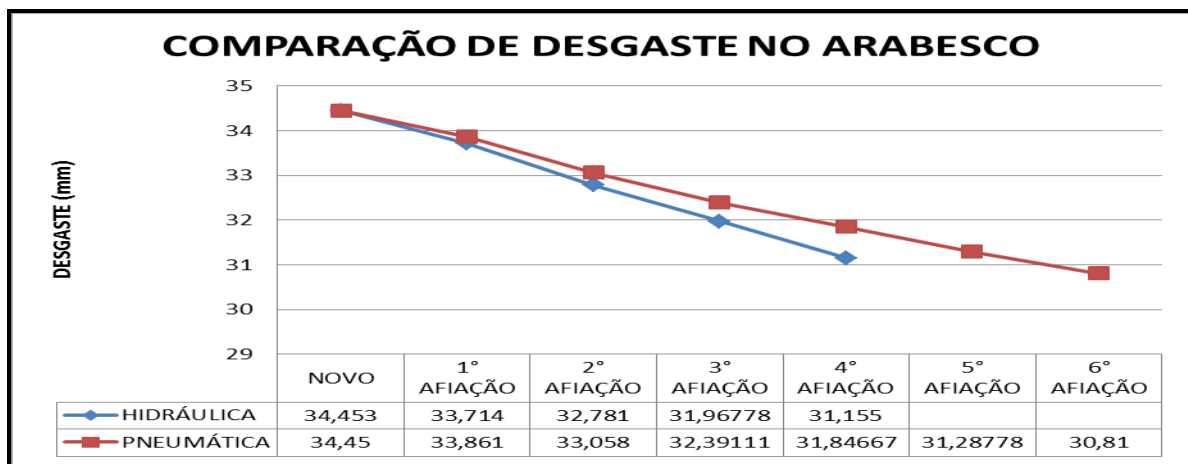
Gráfico 2: Média do desgaste de bits por etapa de afiação no Gnaise Santa Cecília



No gnaise Santa Cecília três dos dez bits usados na perfuratriz hidráulica ficaram danificados. Eles soltaram botão durante a 3^o e 4^o etapa de perfuração, ou seja, após a 3^o afiação do bit, demonstrando que a partir da 4^o afiação não é indicado trabalhar com bits nesta perfuratriz pelos mesmos motivos de limpeza e diâmetro dos furos do gnaise Ornamental. Na perfuratriz pneumática um bit soltou botão durante a 5^o etapa de perfuração, demonstrando que a partir da 5^o afiação não é indicado trabalhar com bits nesta perfuratriz além de que os bits chegaram ao valor de descarte de 31 mm. Uma haste quebrou dentro de um dos bits e este foi descartado.

- Granito Arabesco

Gráfico 3: Média do desgaste de bits por etapa de afiação no Gnaise Arabesco



No gnaise Arabesco dois dos 10 bits da perfuratriz hidráulica soltaram botão durante a perfuração após a 3^o e 4^o amolada demonstrando que a partir da 4^o afiação não é indicado trabalhar com bits nesta perfuratriz pelos mesmos motivos de limpeza e diâmetro dos furos do gnaise Ornamental. Na perfuratriz pneumática dois bits soltaram botão durante a 3^o e 5^o etapas de perfuração, A partir da 5^o afiação não é indicado trabalhar com bits nesta perfuratriz, pois os bits chegaram ao valor de descarte de 31 mm.

O maior desgaste dos bits na perfuração hidráulica se deve a pressão aplicada no bit pela perfuratriz hidráulica. Em contrapartida o desgaste na perfuração pneumática não fica muito atrás devido ao bit ficar por mais tempo sofrendo os efeitos da rotação, o que leva a um desgaste maior com o passar do tempo.

5.1. Comparação entre as perfuratrizes em diferentes tipos de rocha

Os gráficos 4 e 5 mostram os valores de desgaste de bits de cada uma das perfuratrizes analisadas nos 3 tipos de rocha avaliados no estudo.

Gráfico 4: Comparação de desgaste dos bits entre os gnaisses na perfuração hidráulica.

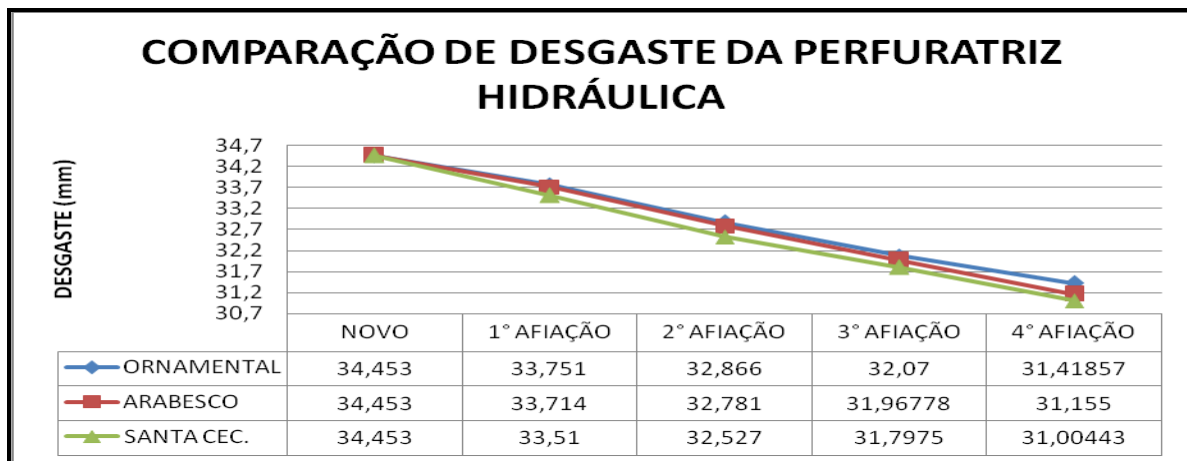
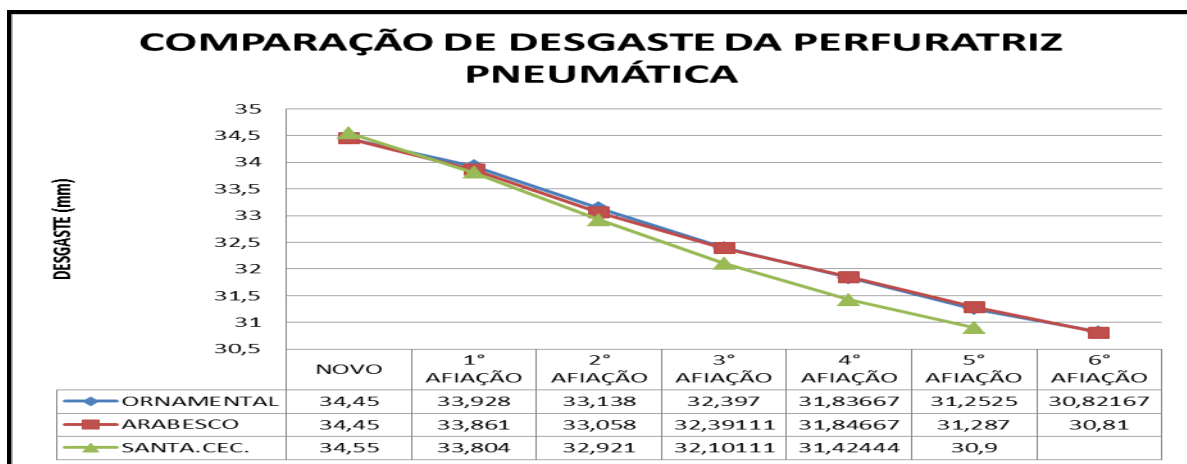


Gráfico 5: Comparação de desgaste dos bits entre os gnaisses na perfuração pneumática.



O maior desgaste na perfuração entre os tipos de gnaisses estudados foi no granito Santa Cecília tanto com a perfuratriz Girodril como com a perfuratriz MPL-3M, apesar de ter a menor resistência à compressão uniaxial. Provavelmente este maior desgaste é devido ao maior tamanho dos seus grãos de quartzo, que aumentam a abrasividade do gnaiss, como demonstrado pelo índice de Schimazek. O efeito da temperatura no desgaste foi desprezado tendo em vista que os furos foram feitos com uso de água evitando-se o superaquecimento dos bits

Como o teor de quartzo é praticamente igual em todos os materiais escolhidos não podemos levar em consideração este fator, como fator preponderante na diferença do desgaste dos bits.

6. CONCLUSÕES

Foi notado que a granulometria do quartzo é um fator muito importante na abrasividade do material, pois quanto maior os cristais, maior será a abrasividade do mesmo. A principal conclusão deste estudo é que o desgaste por abrasividade das rochas é fortemente influenciado pelo tamanho dos seus respectivos grãos de quartzo. Esta abrasividade pode ser percebida pelo cálculo do índice de abrasividade Schimazek. O desgaste de bit apresentou um alto custo entre os insumos usados provando a importância de se conhecer o desgaste destes para o correto cálculo de custos de operação. É essencial conhecer as propriedades físicas e mineralógicas do material a ser perfurado de modo que o desempenho dos trabalhos de perfuração e o desgaste de material e ferramentas de perfuração possa ser previsto e otimizado. Rochas diferentes têm diferentes propriedades que produzem diferentes taxas de desgaste para as ferramentas e insumos de perfuração.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- JIMENO, C. L.; JIMENO, E. L.; FRANCISCO J. A. C. (1995). Drilling and Blasting of Rock. Instituto Geologico y Minero de Españã. Traduzido para o inglês. 300 pp.
- KAHRAMAN, et al. Dominant rock properties affecting the penetration rate of percussive drills. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, V 40, p.711-723, 2003.
- KAHRAMAN, S. Rotary and Percussive drilling prediction using regression analysis. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, V 36, p.981-989, 1999.
- M.M. KRUSHOV, Resistance Of Metal To Wear By Abrasion As Related To Hardness, proc. Conf. on lubrication and wear, Inst. Mech. Engrs. Publ., London, 1967.
- PLINNINGER, R.J et al. Testing condition and geomechanical properties influencing the CECHAR abrasiveness index (CAI) value. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, V 40, P.259-263, 2003.
- PLINNINGER, R.J et al. Wear prediction in hardrock excavation using the CECHAR abrasiveness index (CAI). IN: Schubert, W. (ed.) Rock engineering: theory and practice. Essen: 2004
- S. SOEMANTRI, A.C.. Some Aspects of Abrasive Wear at Elevated Temperatures, Wear, vol 104.
- SCHIMAZEK J. & Knatz H. (1970) Der Einfluss des Gestein saufbaus auf die Schnittgeschwindigkeit und den Meisselverschleiss von Streckenvortriebsmaschinen. (106), 274-278.

ESTABILIDADE DOS MACIÇOS ROCHOSOS PARA LAVRA DE GRANITO COM BANCADAS ULTRA-ALTAS

*Gleicon Roberto de Sousa Maior*¹

¹ Professor, Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Cachoeiro de Itapemirim

gleicon.maior@ifes.edu.br

RESUMO

O uso de bancadas ultra-altas para exploração do granito vem ganhando notoriedade nas minerações deste bem mineral, principalmente no Norte/Noroeste do estado do Espírito Santo. Essa metodologia de lavra se dá de modo diferenciado aos métodos anteriormente aplicados na lavra convencionais. Tendo em vista a formação geológica do Cinturão Granulítico Atlântico - Formação Pão de Açúcar - na qual as empresas estão trabalhando os métodos convencionais com bancadas regulares, de até 20,0 metros de altura, vem inviabilizando grande parte das atividades visto que a geometria dos corpos mineralizados não permitem a aplicação de tais métodos. Desta forma, a aplicação de uma metodologia de lavra que permita que bancadas com mais de 20,0 metros de altura vem sendo implantada com sucesso em diversas lavras de rochas ornamentais. Tais bancadas podem chegar a alturas superiores à 65,0 metros, as quais são chamadas de bancadas ultra-altas, tal como vem ocorrendo nos municípios de Barra de São Francisco e Nova Venécia. Para tanto, este estudo vem apresentar informações sobre a viabilidade de tais atividades através da apresentação de dados técnicos sobre a estabilidade de maciços rochosos apresentando dados quanto à eficiência de tal método.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilidade, bancadas ultra-altas, granito.

ABSTRACT

The use of ultra-high countertops to granite exploration is gaining notoriety in the mining of this mineral, especially in the North / Northwest of the Espírito Santo state. This mining method is given in different ways to the methods previously applied in conventional mining. Given the geological formation of Granulitic Atlantic Belt - Sugarloaf Training – in which companies are working conventional methods with regular countertops, up to 20.0 meters in height, it is not

leading to much of the activity since the geometry of the mineralized bodies do not allow the application of such methods. Thus, the application of a mining method which allows stands over 20.0 meters in height, has been successfully deployed in various workings of ornamental rocks. These benches can reach heights higher than 65.0 meters, which are called ultra-high stands, as has occurred in the municipalities of Barra de São Francisco e Nova Venécia. Therefore, this study is to provide information on the feasibility of such activities through the presentation of technical data on the stability of rock masses presenting data regarding the efficacy of this method.

KEYWORDS: Stability, ultra-high benches, granite.

1. INTRODUÇÃO

Na mineração, a estabilidade dos taludes rochosos está diretamente relacionada à segurança da atividade e à produção da mina. O principal fator a ser considerado em uma atividade de alto risco como a mineração é a segurança tendo como foco a preservação do seu patrimônio e de seus funcionários.

Na mineração de superfície, no geral, a funcionalidade da estabilidade dos taludes rochosos ocorrem de maneira diferenciada com relação às obras geotécnicas convencionais. Portanto, deve-se haver uma maior preocupação com ciclo de operações com relação à estabilidade do maciço em cada etapa do avanço da frente de lavra.

O monitoramento do desempenho dos elementos envolvidos em ambas as atividades, deve ocorrer através de controle e instrumentação, e a sua aplicação deve ser contínua minimizando os riscos pontuais. Depois de iniciadas as atividades, as operações se dão de maneira relativamente simples, podendo levar dezenas de anos até que a viabilidade técnica/econômica atinja um valor que impossibilite a continuidade das atividades. Isso se dá devido ao fato de que nem sempre uma mina é desativada pelo esgotamento mineral, mas em muitos casos devido às limitações técnicas e econômicas da lavra do bem mineral restante.

Para tanto, será reportada no escopo do trabalho um estudo sobre a estabilidade de maciços rochosos em minerações que fazem uso do método de lavra com bancadas ultra-altas (BUA's) para a exploração de granito, considerando as condições geotécnicas e geomecânicas em relação à estabilização dos taludes presentes no entorno da área de influência, assim como as medidas que deverão ser tomadas para controle da estabilidade dos mesmos.

2. BANCADAS ALTRA-ALTAS

Atualmente a literatura relativa à lavra de rochas ornamentais traz algumas metodologias para a retirada dessas rochas dos maciços rochosos, dentre elas temos: tombamento em encostas (fatias verticais ou horizontais, bancadas baixas e bancadas altas), desabamento, tipo fossa ou tipo poço (FARIAS FILHO, 2012).

No entanto, em algumas regiões com potencial elevado de lavra nenhuma dessas técnicas podem ser aplicadas devido à geometria do corpo mineral nelas situadas. É o caso ocorrido no norte do Estado do Espírito Santo onde devido à formação do Cinturão Granulítico Atlântico, conhecida como formação Pão de Açúcar (REGADAS, 2006), os corpos graníticos não apresentavam meios de construção de vias de acesso. Muitos empreendedores tentaram iniciar suas lavras no pé das formações de grandes alturas, região com altos índices de tensão. Com isso, seus materiais de elevado valor econômico apresentavam fraturas recorrentes, de formas aceboladas, tornando a lavra dessas rochas praticamente inviáveis.

Por conta desses fatores, estudos foram realizados até que se observou que com a elevação da altura das bancadas a quantidade de discontinuidades geológicas iam diminuindo. A partir de então, as bancadas ultra-altas começaram a se desenvolver (MAIOR, 2013).

Enquanto as bancadas regulares chegam à 20,0 metros de altura, as bancadas ultra altas vem alcançando valores superiores à 75,0 metros no Norte/Noroeste do estado do Espírito Santo, principalmente nos municípios de Nova Venécia e Barra de São Francisco (figura 1).

Vale salientar que a sua aplicabilidade se dá apenas para a exploração de granito em formações rochosas chamadas de cinturão granulítico-atlântico, ou formação Pão-de-Açúcar.



Figura 1 – Bancadas ultra-altas encontradas no Noroeste do Espírito Santo (MINERAÇÃO GUIDONI, 2016).

3. ESTABILIDADE DOS MACIÇOS ROCHOSOS PARA LAVRA DE GRANITO COM BANCADAS ULTRA-ALTAS

As bancadas ultra altas apresentam um fator de risco devido a sua grande altura. Como naturalmente este tipo de método de lavra se dá em encostas é de extrema importância estudar e monitorar a estabilidade dos taludes formados pela atividade de mineração nestes locais.

A NR-22 em seu item 22.14 versa que: *“A empresa ou Permissionário de Lavra Garimpeira deve adotar procedimentos técnicos, de forma a controlar a estabilidade do maciço, observando-se critérios de engenharia, incluindo ações para:*

- a) Monitorar o movimento dos estratos;*
- b) Tratar de forma adequada o teto e as paredes dos locais de trabalho e de circulação de pessoal;*
- c) Monitorar e controlar as bancadas e taludes das minas a céu aberto;*
- d) Verificar o impacto sobre a estabilidade de áreas anteriormente lavradas e;*
- e) Verificar a presença de fatores condicionantes de instabilidade dos maciços, em especial, água, gases, rochas alteradas, falhas e fraturas.”*

Então, anteriormente aos cálculos de estabilidade de um maciço faz-se necessário classificá-lo a fim de determinar a sua resistência e coesão.

3.1 Método de classificação do maciço rochoso

A classificação dos maciços rochosos podem ser realizadas através do índice GSI (Índice de Resistência Geológica), da resistência à compressão uniaxial da rocha (σ_{ci}) e do ângulo de atrito (m_i) da rocha (HOEK & MARINOS, 2000). Para tanto, os dados para os cálculos dos fatores de segurança foram coletados com base em análise qualitativa e empírica do material analisado. Então, os dados obtidos foram utilizados em dois softwares para cálculos geotécnicos, são eles o ROCLAB 1.0 e o SLIDE 5.0 ambos pertencentes à empresa de softwares Rocscience.

Na primeira etapa foram feitas análises com relação aos dados técnicos necessários para os estudos de estabilidade dos taludes em questão com auxílio do software ROCLAB. Este software tem como proposta encontrar, através de modelamentos numéricos da mecânica de rochas, a definição de alguns dados das propriedades dos maciços rochosos.

Desta forma, tornou-se possível obter estimativas confiáveis das propriedades do maciço rochosos e ter a visualização dos efeitos que a mudança dos parâmetros da rocha produz sobre o critério de ruptura. Assim, após encontrar as propriedades dos maciços rochosos foi possível

encontrar os dados necessários que foram inseridos em programas de análises numéricas, no qual, requerem definições das propriedades do material para a execução dos cálculos de estabilidade de talude feitos pelo programa SLIDE 5.0.

3.2 Determinação do parâmetro de resistência

Para a determinação dos parâmetros de resistência de Hoek-Brown faz-se necessária a introdução dos seguintes dados: Resistência à compressão simples da rocha intacta, **SIGCI**; Parâmetro da rocha intacta, **MI**; Índice de resistência geológica, **GSI**; Fator de dano sofrido pelo maciço, **D**.

Cada um dos 4 parâmetros mencionados acima, podem ser estimados mediante tabelas de dados integrados, a partir do tipo de rocha, condições geológicas e etc (vide figura 2).

O ROCLAB permite a determinação dos quatro parâmetros de entrada (σ_i , m_i , GSI e D), eles podem ser convenientemente estimados a partir de gráficos e tabelas, com base no tipo de rocha, condições geológicas e outras características do maciço rochoso.

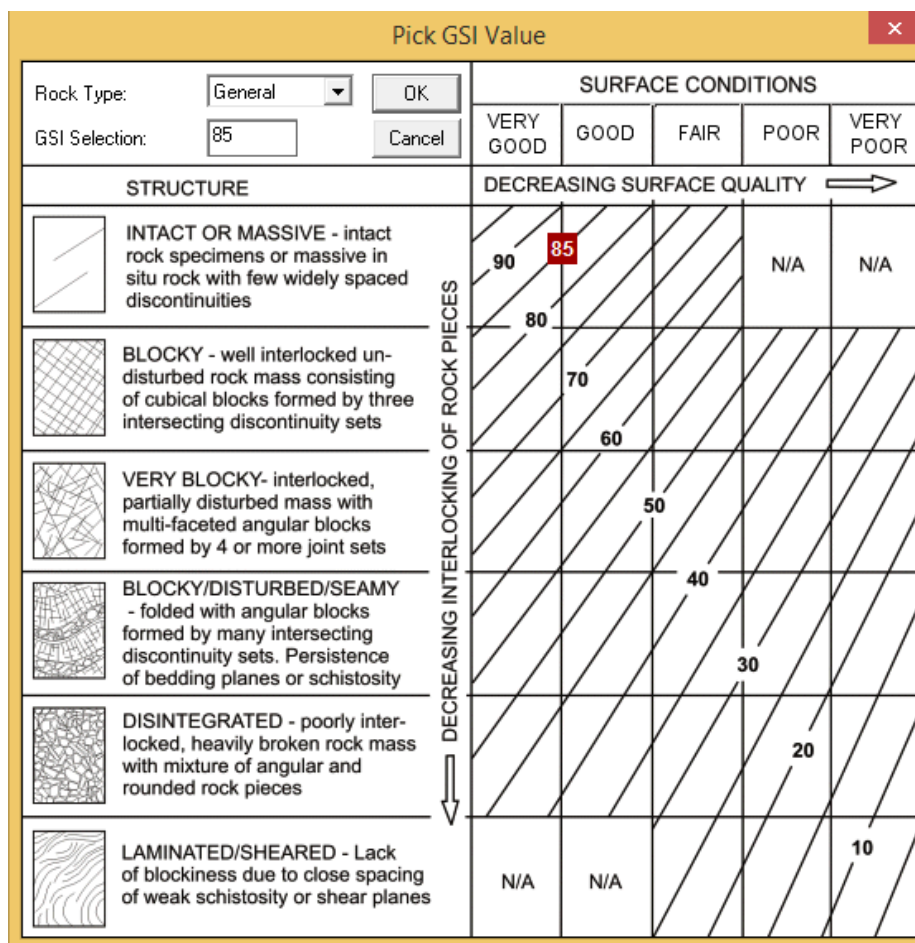


Figura 2 – Determinação do valor GSI para granitos (Fonte: extraído do software SLIDE 5.0).

Como consequência se pode realizar o cálculo dos parâmetros de resistência equivalentes de Mohr-Coulomb, coesão e ângulo de atrito, nos quais são utilizados para a análise de problemas em túneis e estabilidade de taludes.

A partir dos dados obtidos com a análise e os resultados no ROCLAB junto com outras incógnitas coletadas em campo, com altura de bancada, ângulo de talude entre outros, teremos informações necessárias para o modelamento numérico de taludes com o programa SLIDE.

3.3 Modelamento numérico do talude com o slide 5.0

O modelamento geológico do talude se baseia em traçar um perfil geológico do talude estudado e as características geomecânicas de cada material que o compõem. O primeiro passo seria o desenho geométrico mostrando cada tipo de rocha que o integra e as propriedades que foram calculadas no software anterior. A partir deste ponto traçam-se todas as características que o maciço possui para que o modelo possa chegar o mais próximo do real.

3.4 Classificação através dos valores adotados

A resistência ao cisalhamento do material geralmente é descrita em termos dos parâmetros de resistência de Mohr-Coulomb (c' e γ'), e o Fator de Segurança (FS) é dado pela razão entre a soma das forças resistentes ao deslizamento e a soma das forças causadoras do deslizamento, podendo também ser definido em termos de momentos atuantes e resistivos.

Para o cálculo do Fator de Segurança (FS) em superfícies de rupturas sejam elas circulares ou não, geralmente o maciço é dividido em fatias. Assim é possível obter o valor da tensão cisalhante atuante ao longo de toda superfície de ruptura. Neste cálculo são levadas em conta as forças cisalhantes e normais sobre a superfície de ruptura de cada fatia e entre as fatias, o peso próprio da fatia, e as cargas externas atuantes no topo de cada fatia. Algumas hipóteses são adotadas com relação a estes fatores a fim de que o problema se torne estaticamente determinado, quando resolvido através das equações de equilíbrio estático.

Os métodos mais conhecidos e utilizados são os de Fellenius, Bishop Simplificado, Janbu Simplificado, Spencer, e Morgenstern-Price, sendo o de Fellenius o simples, onde somente é avaliado o equilíbrio de momentos em relação a um ponto.

O método simplificado de análise de estabilidade de taludes proposto por Bishop é um dos mais utilizados em aplicações práticas (LINS et al, 2015 apud BISHOP, 1955).

A escala esta compreendida em fatores de segurança que se dispõe de 0 a positivo no qual 0 (zero) será um coeficiente de segurança mais perigoso. É válido ressaltar que a escala em questão

é uma escala exponencial na qual, os dados acima do fator de segurança 1 (um) representa o fator de segurança limite como mostra a tabela a seguir:

Tabela 1: Coeficiente de segurança (JÚNIOR, 2005).

COEFICIENTE DE SEGURANÇA (CS)	CONDIÇÃO DO TALUDE
CS < 1,0	Talude instável, caso o talude venha a ser implantado nestas condições deverá sofrer ruptura.
CS = 1,0	Condição limite de estabilidade associada à iminência de ruptura.
CS > 1,0 (pouco maior)	Condição estável; quanto mais próximo de 1,0 for o CS mais precária e frágil será a condição de estabilidade do talude.
CS >> 1,0 (muito maior)	Condição estável; quanto maior for o CS, menores serão as possibilidades do talude vir a sofrer ruptura quando submetido a condições críticas (percolação de água, etc.).

Para os valores de coesão e ângulo de atrito (propriedades de resistência ao corte) dos maciços terrosos e rochosos descrevendo a respectiva estrutura e composição, podem ser classificadas em 24 grupos de valores (HOEK & BRAY, 1977). Com os valores apresentados na tabela 2, podemos ter uma relação entre a coesão e o ângulo de atrito a fim de determinar as condições do maciço rochoso para o qual serão feitas as análises de estabilidade.

3.5 Cálculos da estabilidade com os softwares

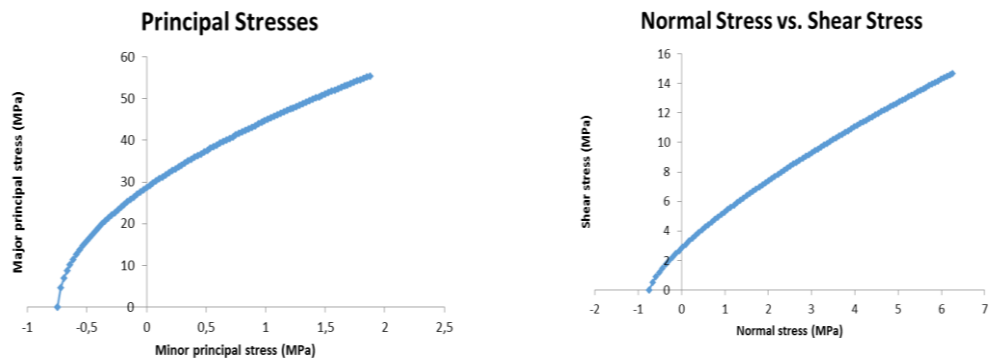
Para o caso em questão das bancadas ultra-altas (BUA's) faremos uma simulação de uma bancada para extração de granito para fins ornamentais apresentando altura de 75,0 metros. Segundo HOEK & KARZULOVIC (2000) a resistência à compressão uniaxial (σ_{ci}) do granito como apresentando força extrema (> 250 Mpa - porém, com base em análises laboratoriais utilizaremos $\sigma_{ci} = 100$ Mpa); Parâmetro da rocha intacta, $MI = 32 \pm 3$; o fator de dano do maciço, $D=1$ (devido ao uso de explosivos); o parâmetros GSI depende da qualidade da rocha, e como se trata de uma rocha com fins ornamentais geralmente o seu fator GSI varia entre 80 e 90. Para este caso específico, utilizaremos $GSI = 85$.

A figura 3, representa os dados obtidos através do uso do ROCLAB 1.0. A coesão da rocha é de 3,184 e o ângulo de atrito (ϕ) é de 63,0°. De acordo com a tabela 2, o maciço pode ser classificado como maciço rochoso duro e não perturbado, com poucas juntas mergulhando para dentro do talude e com blocos limpos de rocha dura.

A imagem 4, apresenta a análise realizada através do software SLIDE 5.0 e a obtenção do fator de segurança para o talude rochoso de uma bancada ultra-alta (BUA).

Tabela 2: Relação entre a coesão e ângulo de atrito (Hoek & Bray, 1977).

	ϕ_1 (Resistência residual de superfícies cisalhadas)	ϕ_2 (Material remodelado com partículas arredondadas e frágeis e apreciável conteúdo de argilas)	ϕ_3 (Solo não e maciços rochosos com pequeno conteúdo de material argiloso)	ϕ_4 (Maciços rochosos ou enrocamentos com blocos limpos de rocha dura)	
400	C_6, ϕ_1	C_6, ϕ_2	C_6, ϕ_3	C_6, ϕ_4	C_6 (Maciço rochoso duro e não perturbado, sem descontinuidades importantes mergulhando dentro do talude)
300	C_5, ϕ_1	C_5, ϕ_2	C_5, ϕ_3	C_5, ϕ_4	C_5 (Maciços rochosos duros e não perturbados, sem juntas mergulhando para dentro do talude)
200	C_4, ϕ_1	C_4, ϕ_2	C_4, ϕ_3	C_4, ϕ_4	C_4 (Maciços rochosos não perturbados, com poucas juntas mergulhando para dentro do talude)
100	C_3, ϕ_{V1}	C_3, ϕ_2	C_3, ϕ_3	C_3, ϕ_4	C_3 (Maciços rochosos brandos ou rochas duras compartimentadas por detonações ou excesso de carregamento)
40	C_2, ϕ_1	C_2, ϕ_2	C_2, ϕ_3	C_2, ϕ_4	C_2 (Rocha branda alterada ou descontinuidades em rocha dura)
0	C_1, ϕ_1	C_1, ϕ_2	C_1, ϕ_3	C_1, ϕ_4	C_1 (Solos argilosos e arenosos)
	0	15°	25°	35°	50°
	Ângulo de atrito (graus)				



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 100 MPa
 GSI = 85 m_i = 32 Disturbance factor (D) = 1
 intact modulus (E_i) = 42500 MPa
 modulus ratio (MR) = 425

Hoek-Brown Criterion

m_b = 10.961 s = 0.0821 a = 0.500

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 3.184 MPa friction angle = 63.00 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.749 MPa
 uniaxial compressive strength = 28.624 MPa
 global strength = 48.677 MPa
 deformation modulus = 15997.30 MPa

Figura 3 – Dados obtidos pelo ROCLAB 1.0 (Fonte: Elaboração do autor).

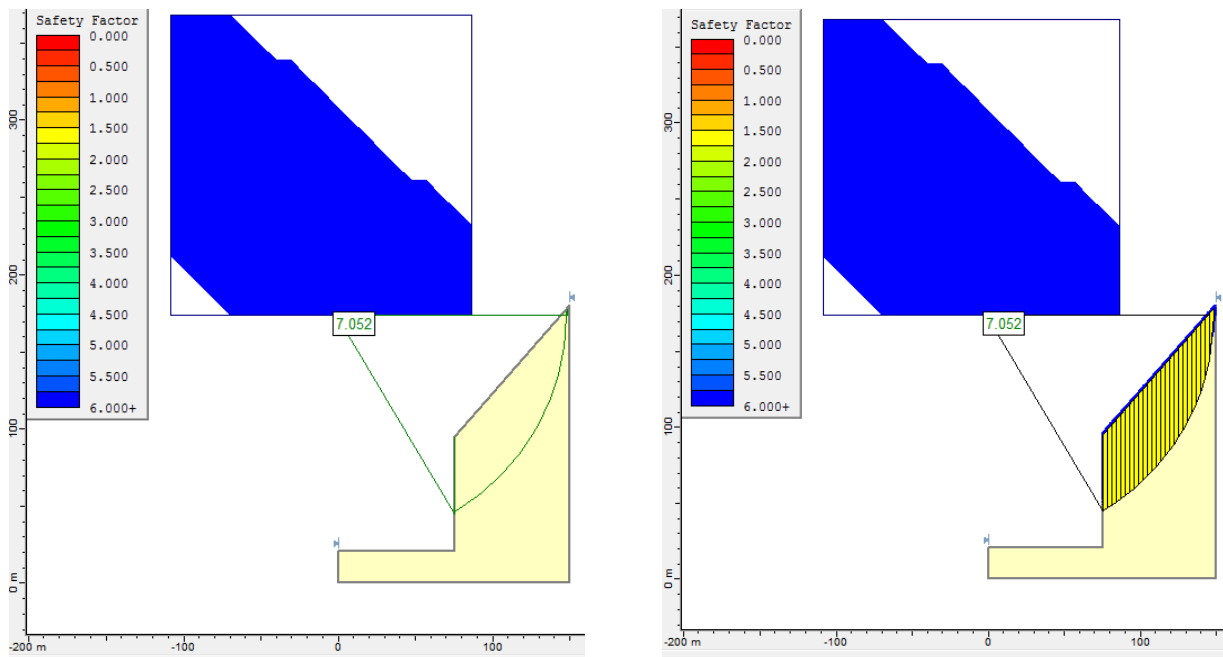


Figura 4 – Fator de segurança para um talude com BUA (Fonte: Elaboração do autor)

A análise do Coeficiente de Segurança, mostra que o menor valor calculado para o talude rochoso em questão foi de 7,052 ou seja, $CS > 1$, portanto o talude se encontra estável.

4. CONCLUSÃO

Como pode ser observado, a estabilidade de um maciço rochoso no está sendo aplicada a metodologia de bancadas ultra-altas (BUA's) para a extração de granito com fins ornamentais é factível.

Os índices de classificação do maciço, representando-o como maciço duro e não perturbado, e o fator de segurança superior à 1,0 (ou seja, o maciço é estável) mostram que este método de lavra pode ser aplicado em outras localidades, se respeitadas as características aqui representadas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FARIAS FILHO, E. C. Viabilidade econômica de aplicação das técnicas de corte de rochas ornamentais. Estudo comparativo de custos. **Monografia apresentada a fim de obtenção de título de pós graduado em Engenharia de recursos naturais**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2012.

HOEK, E.; BRAY, J. W. Rock Slope Engeneering. 2nd Ed. 402 pp. **IMM**, London, 1977.

HOEK, E.; MARINOS, P. Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous rock masses. **Tunnels and Tunnelling International**, Part 1 – November 2000, Part 2 – December 2000.

HOEK & KARZULOVIC. Rock-Mass Properties for Surface Mines. **Slope Stability in Surface Mining**. Capítulo 6. Estados Unidos da América, Editora SME, 2000.

LINS, P. G. C.; FILHO, R. S. V.; SANTANA, D. S. Aplicação do critério de ruptura de Hoek-Brown na análise de estabilidade de taludes. **Revista Fundações & obras geotécnicas**, Editora Rudder, 2015.

MAIOR, G. R. S. Panorama da Mineração de Rochas Ornamentais no Estado do Espírito Santo com Ênfase na Lavra por Bancadas Ultra Altas. **Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral – PPGEMinas da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife 2013.

MINERAÇÃO GUIDONI. http://www.guidoni.com.br/pt_BR/jazidas/ornamental-guidoni.html. Acessado em 25/02/2016.

NR 22 - Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração. **Ministério do Trabalho e Emprego**.

REGADAS, I. C. M. C. Aspectos relacionados às lavras com fio diamantado no Norte do Espírito Santo, Brasil. **Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre**. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.

O USO DOS MÁRMORES EM OBRAS DA PAMPULHA E DO DISTRITO FEDERAL

Maria Heloísa Barros de Oliveira Frascá¹, Risale Neves²

¹ Geóloga, Dr., MHB Serviços Geológicos – São Paulo, SP

² Arquiteta, Dr., Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pernambuco –

UFPE – Recife, PE

mhelois2@yahoo.com.br

RESUMO

É indiscutível a importância da obra de Oscar Niemeyer no cenário da arquitetura mundial, não só pelos projetos arquitetônicos originais executados para a criação da Capital Federal do Brasil, assentado sobre o traçado urbanístico de Lucio Costa e erguido pela poesia estrutural de Joaquim Cardoso, mas também pelos projetos da Lagoa da Pampulha em Belo Horizonte, Minas Gerais, edificadas na década de 40 (séc. XX), antecedendo, pois, às obras que deflagraram a ocupação do Planalto Central. Algumas obras originais de Brasília foram escolhidas para este estudo, um recorte embrionário representativo do que se considera arquitetura moderna, e, exclusivamente para essa abordagem, o emprego predominante de materiais naturais nos edifícios, destacadamente os mármore brancos, certamente escolhidos e indicados pelo próprio autor dos projetos. Existem registros óbvios, mas também contraditórios sobre estas indicações. Buscas prévias levam a poucos dados sobre a origem do mármore utilizado, a despeito da quantidade e variedade de formas em que foi empregado. Segundo a Fundação Oscar Niemeyer, a pedra teria sido fornecida por estabelecimento existente no Estado do Rio de Janeiro, que por sua vez aponta que o mármore seria procedente do Município de Italva, no noroeste do estado. A limitação de informações e de medidas para conservação dos materiais é alvo de preocupação âmbito da Arquitetura e Urbanismo do Brasil e também da Geologia, quanto à preservação de obras construídas em rochas, consideradas notáveis, modernistas ou mesmo contemporâneas e a estas, somam-se as preocupações de ainda predomine no Brasil o foco voltado para a conservação das obras históricas, de modo geral.

PALAVRAS-CHAVE: mármore, conservação, patrimônio cultural, Pampulha, Brasília.

ABSTRACT

There is no question on the importance of the architectural work of Oscar Niemeyer, not only in the architectural and urban context of the creation of the Federal Capital of Brazil, in partnership with Lucio Costa, but also for projects of the Pampulha Lagoon in Belo Horizonte, Minas Gerais, built up in the 40's of the last century. Remarkable is the predominant use of stones in these projects, notably the white marbles, surely specified by them. However, it is noteworthy the lack of information regarding the type of marble used, regardless the quantity and variety in which he was employed. According to the Oscar Niemeyer Foundation, the stone would have been provided by a company in the State of Rio de Janeiro. A preliminary investigation indicated that the marble used in most of the buildings in Brasília came from the municipality of Italva, on the Northwest of the State, where there were two varieties: the "Sparkling Marble" and the "Italva White Marble", respectively dolomite-calcite marble and dolomite marble. This lack of information is one of the great concerns in the field of architecture and urbanism in Brazil, on the preservation of buildings considered modernist or even notable contemporary examples, added to the concerns of the geology and conservation areas, to the durability and maintenance of these rocky materials, despite, at present, the main focus is in traditional historic heritage.

KEYWORDS: marble, conservation, cultural heritage, Pampulha, Brasília.

1. INTRODUÇÃO

O uso de rochas na Arquitetura constitui hoje segmento de interesse na interface com a Geologia e Engenharia de Minas, pois estas foram historicamente os materiais naturais de construção da antiguidade aos dias atuais, e se torna cada vez mais relevante o registro desses usos ao longo dos tempos e o estabelecimento de critérios para a preservação monumentos e edificações, modernos ou históricos.

Isso exige em determinados casos, um olhar criterioso sobre a preservação dos aspectos estéticos e estruturais das rochas como composição plástica arquitetônica ou revestimentos, em especial aplicadas em obras do acervo do patrimônio artístico e cultura, seja ele nacional ou internacional.

Eleger Pampulha e Distrito Federal para destacar estudo sobre o uso de mármore em obras, é determinar um recorte temporal na arquitetura brasileira, representativo do pensamento modernista referenciado como patrimônio histórico.

Se o olhar sobre a preservação das rochas em obras do patrimônio histórico no mundo está há algum tempo voltado para o trato visando a sua conservação, é chegada a hora de entender que certas obras recentes são ou serão em breve históricas, para regozijo da humanidade. Que se ponha o olhar nos mármore, como “ensaio” para um estudo mais aprofundado.

Os palácios do Distrito Federal ou simplesmente Brasília (1956-60) adotados para estudo, foram precedidos pelas obras da Pampulha iniciadas em 1940 e projetadas também por Oscar Niemeyer, constituindo assim raiz e a base experimental de toda a sua obra.

No entanto, o mérito do estudo não estará em especular essas obras em si. Muitos estudiosos do Brasil e de vários países já o vem fazendo desde a época das construções, sem falar nas autobiografias de Niemeyer, Juscelino Kubitschek, Joaquim Cardoso, entre outros, mas nenhum trabalho há por certo, tão cuidadoso e conciso quanto a recente publicação pela Câmara dos Deputados da pesquisa de Silva (2014), sobre *Os palácios originais de Brasília*.

Quanto às pedras, não está sendo tarefa fácil obter registros além do que já consta em Silva (2014) e outras comunicações com a Fundação Niemeyer, apesar de que o foco principal do trabalho de Silva (op. cit.) estivesse muito mais voltado para a recuperação das informações sobre a concepção dos projetos, desenvolvimento e construção, do que para os elementos de acabamento das edificações, o que segundo Danilo Matoso Macedo o prefaciando, Niemeyer deixou de exprimir a partir das obras de Brasília, quando voltou-se para as estruturas integradas à concepção plástica dos palácios.

Danilo Matoso Macedo reforça, no mesmo prefácio, que “a obra de Niemeyer em Brasília resulta de uma mudança de escopo do projeto de arquitetura, menos afeito a detalhes arquitetônicos e de revestimentos, por exemplo, não significando desleixo para com o acabamento da edificação, mas prevalecendo a síntese dos elementos compositivos”, comparando assim a produção Pampulha x Brasília.

Não foi, portanto, intenção Silva (2014), pesquisar sobre os mármore que pavimentam e revestem as obras, mas sim, a verve criadora dos palácios de Brasília representada, por exemplo, pelas colunas dos palácios do Planalto, do Supremo Tribunal Federal, da Alvorada, ou pelo perfil das cúpulas do Palácio do Congresso Nacional, tudo representado por Joaquim Cardoso em equações de geometria analítica.

2. BRASÍLIA

Criada para ser a capital brasileira na parte central e ocidental do Brasil, Brasília é um exemplo definitivo da arquitetura e urbanismo modernista do século XX. Foi construída em apenas quatro anos, de 1956 a 1960, seguindo projeto do urbanista Lúcio Costa e do arquiteto Oscar Niemeyer que desejavam que cada elemento – do layout dos distritos residenciais e administrativos, cujo traçado foi muitas vezes comparado, entre outras formas, à de um pássaro em voo (Figura 1), até a simetria dos próprios edifícios – devesse estar em harmonia com o aspecto visual geral da cidade.

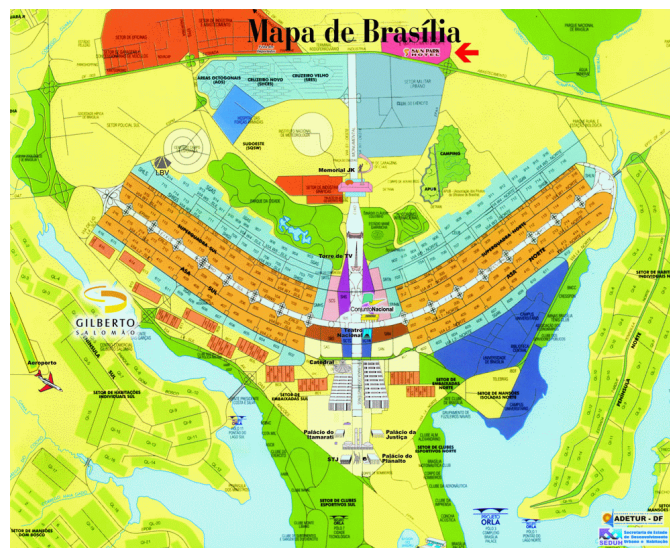


Figura 1 – Plano Piloto de Brasília – Configuração do Eixo Central (Fonte: ADETUR 2015).

Essa descrição consta do Centro de Patrimônio Mundial – World Heritage Centre – da Unesco, que em 1987 nomeou Brasília como Propriedade do Patrimônio Cultural – Cultural Heritage Property.

A maioria dos edifícios originais projetados por Oscar Niemeyer e citados pela Unesco, está ao redor da Praça dos Três Poderes: o Palácio do Congresso Nacional (Figura 2A), o Palácio do Planalto (Figura 2B), o Palácio do Supremo Tribunal Federal (Figura 2C), a Catedral de Brasília (Figura 2D), teatro Nacional e o Palácio da Alvorada, este localizado em área mais distante.



Figura 2 – Palácio do Congresso Nacional (A), Palácio do Planalto (B), Palácio do Supremo Tribunal Federal (C) e Catedral de Brasília (D). Fotos: Risale Neves - 2013.

A despeito do reconhecimento mundial do valor arquitetônico dos prédios, quase não é mencionado o uso expressivo do mármore branco como revestimento, na maioria de outros trabalhos existentes, muito menos são encontrados na literatura a procedência das rochas de modo geral – pois foram usados outros tipos pétreos nas obras de Brasília –, dos critérios de escolha e de especificação dos materiais, método de fixação e, especialmente, as orientações para conservação.

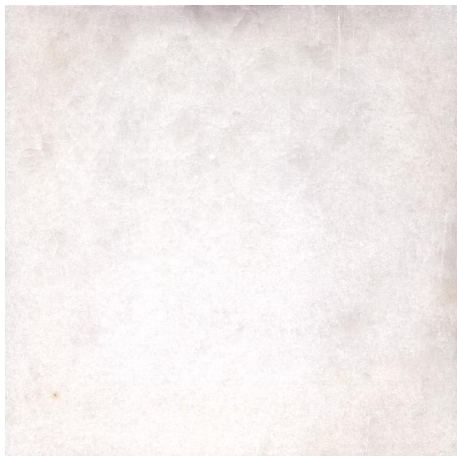
Tem-se ainda como quase certo, o fato de terem sido usadas apenas pedras nacionais, conforme intento de Oscar Niemeyer expresso em *Minha Experiência em Brasília* (1961): “tivemos assim que transigir, elaborando em quinze dias projetos que normalmente exigiriam dois ou três meses de trabalho [...] evitando materiais de importação que, embora adequados, criariam dificuldades econômicas e alfandegárias, além de uma competição com a indústria brasileira que nos cabia proteger”.

Mesmo assim, foram encontradas algumas referências a material importado no trabalho de Silva (2014), o que não cabe polemizar visto que não haver interesse em discutir o que está registrado e sim o que poderá ser constatado a partir de futuras observações *in loco*.

3. OS MÁRMORES BRANCOS

Uma investigação preliminar, por meio de contatos fornecidos pela Fundação Niemeyer, indicou que o mármore usado na maioria dos edifícios de Brasília é procedente do município de Italva, no noroeste do estado do Rio de Janeiro (DRM-RJ, 2012).

Em estudo realizado pelo DRM-RJ, em 2003, é mencionada existência, nesta região, de duas variedades de mármore branco comercializado como rocha ornamental: o "Mármore Cintilante" (MC) e o "Mármore Branco Italva" (MBI), respectivamente dolomita-calcita mármore e mármore de dolomita (Figura 3).



"Mármore Cintilante"



"Mármore Branco Italva"

Figura 3 – Aparência geral dos mármore branco de Italva (Fonte: DRM, 2003).

3.1 Contexto Geológico

O mármore branco de Italva era extraído de um corpo de forma de ferradura com aproximadamente 13 km de comprimento e 1 km de largura, inserido no Domínio de Italva, uma unidade metassedimentar do Complexo Paraíba do Sul – que inclui também biotita gnaisses, anfibolitos e anfibólio xisto – que por sua vez pertence à província Mantiqueira, um sistema orogênico Neoproterozóico, localizado nas regiões sul e sudeste do Brasil (Figura 4).

Esta sequência sedimentar teria sido depositada em ambiente marinho de águas rasas, com contemporâneo magmatismo basáltico, agora metamorfozado em fácies anfibolito. A idade estimada de deposição é 840 Ma (U-Pb) obtidos para anfibolito intercalado no mármore (Mantesso-Neto et al. 2004, Hasui et al. 2012).

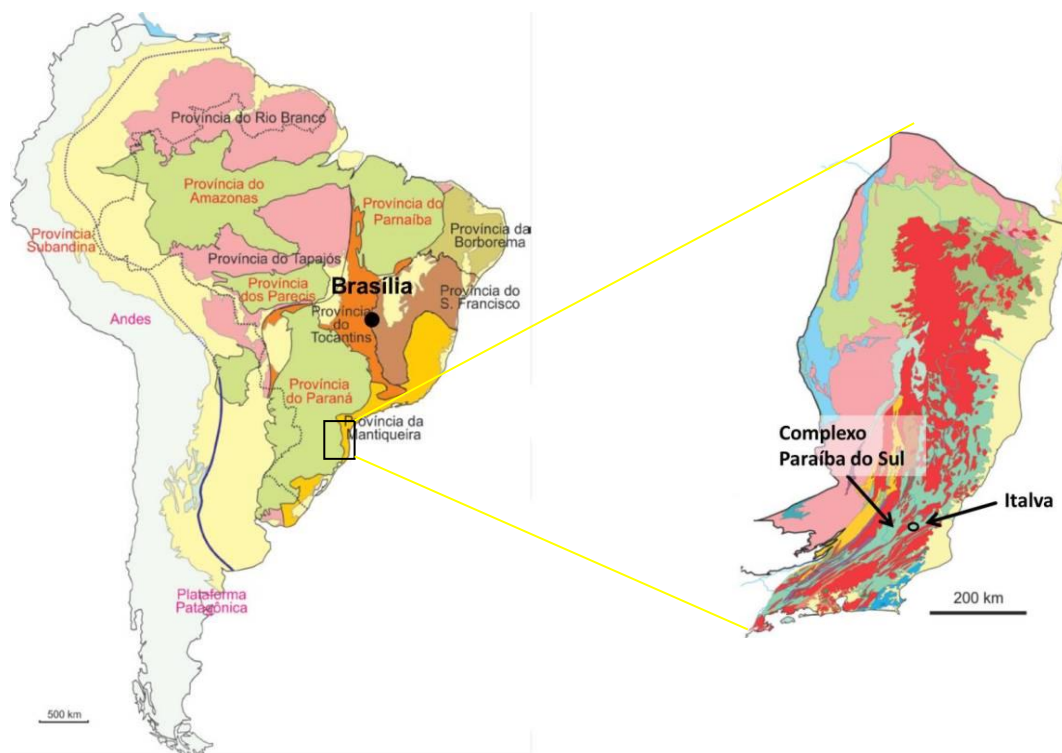


Figura 4 – Situação geológica de ocorrência dos mármore brancos de Itálva

(Fontes: Mantesso-Neto et al. 2004, Hasui et al. 2012)

3.2 Características Petrográficas e Tecnológicas



As principais características petrográficas e tecnológicas dos mármore “Cintilante” e “Itálva”, obtidas em DRM (2003), sumariadas nas Tabelas 1 e 2, indicam que apesar de, aparentemente, a especificação dos materiais de revestimento utilizados em Brasília não ter seguido critérios técnicos facilmente reconhecíveis, ou que estes não foram disponibilizados, as rochas presumivelmente escolhidas e usadas no revestimento de grande parte das edificações planejadas no plano piloto exibem propriedades tecnológicas adequadas e na sua maioria mantem-se preservadas ao longo de meio século.

Tabela 1. Principais propriedades tecnológicas dos mármore branco (Cintilante e Itálva) (DRM 2003).

Propriedade	Mármore Cintilante	Mármore Branco Itálva
Densidade aparente (kg/m ³)	2.794 ± 26	2.855 ± 4
Absorção de água (%)	0,08 ± 0,01	0,10 ± 0,01
Porosidade aparente (%)	0,21 ± 0,02	0,29 ± 0,02
Coefficiente de dilatação térmica linear (10 ⁻³ mm/m•°C)	6,0	5,2
Resistencia à compressão uniaxial (MPa)	84,3 ± 12,0	88,2 ± 15,4
Módulo de ruptura (MPa)	9,92 ± 1,22	8,75 ± 1,33
Resistencia à flexão (MPa)	8,10 ± 0,27	5,58 ± 0,42
Desgaste abrasivo (Amsler) – 1.000 m	5,70	5,40
Resistência ao impacto (J)	0,49 ± 0,03	0,45 ± 0,00

Nota: valores de resistência mecânica na condição seca.

Tabela 2. Principais características petrográficas dos mármore branco (Cintilante e Itálva) (DRM 2003).

		
	Cintilante	Itálva
Natureza	metamórfica	metamórfica
Cor	branca	branca acinzentada
Estrutura	maciça	maciça
Textura	granoblástica inequigranular interlobada	granoblástica poligonal
Minerais (%)	Calcita 90 Dolomita 10	Dolomita 90 Calcita 5 Diopsídio + Actinolita 5 Mica incolor -
Granulação	Média a grossa, variando entre 1 mm e 10mm	Média, variando entre 1,0 e 2,5 mm
Classificação (Winkler 1976)	<i>Dolomita-calcita mármore</i>	<i>Dolomita mármore</i>

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não obstante o reconhecimento mundial do valor arquitetônico dos edifícios de Brasília, principalmente das obras palacianas, o uso expressivo de mármore branco como revestimento é raramente mencionado. Há pouca informação acerca da proveniência, dos critérios de especificação, método de fixação, manutenção e conservação, e até mesmo a Fundação Oscar Niemeyer é desconhecadora de dados mais aprofundados sobre as pedras usadas na construção de Brasília.

À época da consulta (início de 2015) a informação mais acessível foi de que o fornecedor das placas de mármore na época das construções era estabelecido no estado do Rio de Janeiro. Outros dados, apontados por Silva (2014), indicam que a empresa prestadora de serviços, ao trazer mão de obra treinada do canteiro da Pampulha, desenvolveu métodos de talhe e aplicação das pedras que resultaram em esmerado acabamento no Palácio da Alvorada. A obra foi entregue a essa empresa que, juntamente com o engenheiro da construtora cuidaram da paginação e formato de peças, às vezes curvas das colunas e capela (Figura 5).

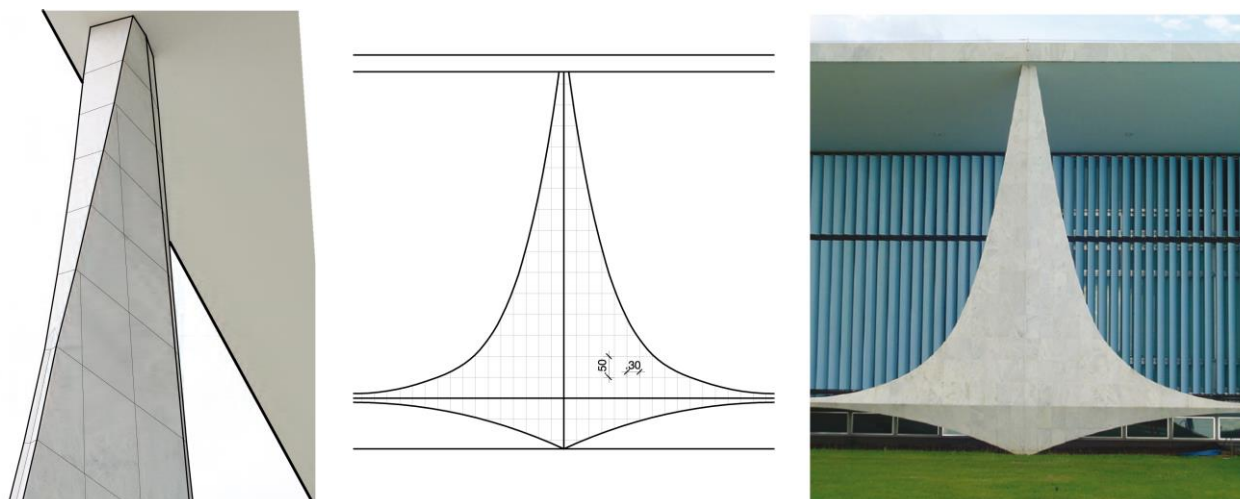


Figura 5 – Detalhe de peças assentadas em quina e topo e ordenamento do assentamento das peças de mármore. Desenho: Élcio Gomes, 2011 – Foto: André Souza, 2007.

Na sequência desses dados preliminares, consta que os mármorees estão presentes em planos independentes como pavimentação nas partes internas das áreas nobres centrais e espaços oeste do edifício principal do Palácio do Congresso Nacional; no Palácio do Planalto

predominaram em pavimentos, espaços públicos e nobres; e no Palácio do Supremo Tribunal Federal os mármore aparecem no pavimento térreo, nos espaços públicos de todos os níveis e nas colunas externas e recuadas.

No entanto, apesar da precariedade de dados sobre a origem e do possível desconhecimento das características técnicas dos materiais rochosos na época da construção, dados petrográficos e tecnológicos (DRM, 2003) indicaram boas propriedades do suposto material de origem, atestadas de forma preliminar pela permanência das placas de revestimentos nos edifícios preservadas em suas características estéticas.

A preservação deste patrimônio cultural mundial é uma demanda urgente, como apontado pela UNESCO, e um dos principais desafios é a conservação da pedra, para o que urge no mínimo, um diagnóstico detalhados e estudos técnicos e científicos multidisciplinares. Há, portanto, urgência na continuidade da recuperação dos possíveis registros de fornecimento do mármore, da sua colocação e das intervenções já realizadas.

5. REFERÊNCIAS

DRM-RJ – DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Catálogo das rochas ornamentais do Estado do Rio de Janeiro**. DRM: Rio de Janeiro, 2003. 12 encartes.

_____. **Panorama mineral do Estado do Rio de Janeiro**. DRM: Rio de Janeiro, 2012. 258p.

HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.Ré; ALMEIDA, F.F.; BARTORELLI, A. (org.) **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca, 2012. 900p.

MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R.; BRITO-NEVES, B.B. (org.) **Geologia do Continente Sul-Americano**. São Paulo: Beca, 2004. 647p.

UNESCO. **World Heritage List**. <http://whc.unesco.org/en/list/445>. (Acesso 05/Janeiro/2015).

SILVA, E. G. **Os palácios originais de Brasília** – Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara. Série Arte e Cultura; n. 11, 2014. 403 p.

NIEMEYER, Oscar; **Minha experiência em Brasília** – Gráfica Editora Itambé S. A. Rio de Janeiro, 1961.

CHOAY, F. **Brasília, uma capital pré-fabricada** – L'oeil, Paris. 1959. n.59, p 76-83

SODRÉ, N. W. **Oscar Niemeyer/ Nelson Werneck Sodré** – RJ: Ed. Graal (Coleção "Eu" v.n.3), 1978.

ROCHAS ORNAMENTAIS DO ESPÍRITO SANTO E DO NORDESTE: AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE ATRAVÉS DA CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

*Glenda Aparecida Rodrigues de Oliveira¹, Felisbela Maria Costa de Oliveira², Alinne Marianne
Martins Araújo³, Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros⁴*

^{1,3} Mestre em Engenharia Mineral, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mineral/ UFPE
Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cid. Universitária, 50670-901 Recife - PE (Brasil)

^{2,4} Prof. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral/UFPE
Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cid. Universitária, 50670-901 Recife - PE (Brasil)

glenda.oliveira@gmail.com

RESUMO

Este trabalho consiste na determinação das características mineralógicas, petrográficas texturais e propriedades físicas e mecânicas de sete litotipos de colorações cinza e amarela do Espírito Santo (Cinza Andorinha, Cinza Corumbá, Arabesco e Santa Cecília) e do Nordeste (Cinza Pocinhos, Cinza Corumbá e Amarelo Ipanema) para avaliação da aplicabilidade em função do ambiente e das solicitações a que estas rochas serão expostas quando usadas como revestimentos. Em se tratando de rochas de composição granítica para revestimentos, a determinação das propriedades físicas (índices físicos) e mecânicas (resistências à compressão e à flexão e desgaste Amsler) foi determinada a partir da NBR 15845/ABNT e os resultados obtidos foram comparados àqueles estabelecidos pelas normas ABNT NBR 15844 (brasileira) e ASTM C 615 (americana). Os resultados dos materiais cinzas, independentemente de sua origem, são compatíveis com aqueles preconizados pela NBR 15844 e ASTM C 615, entretanto, os de coloração amarela apresentam valores muito próximos dos limites das normas. Isto pode ser explicado a partir da cor que é indício de processos de alteração, principalmente de minerais ferromagnesianos, (oxidação, hidroxidação, hidratação) que modificam as características de resistências dos materiais através de aumento de porosidade e absorção de água aparentes. Sabe-se que o aumento de porosidade diminui a resistência à compressão e conseqüentemente a resistência à tração (flexão). A maioria dos litotipos estudados apresentam valores adequados para utilização como material ornamental,

com restrições para os litotipos de coloração amarela, que necessitam de impermeabilização quando de seu uso em áreas úmidas. Observa-se ainda que análise petrográfica/mineralógica mais aprofundada dos litotipos é recomendada para a previsão de seu comportamento face às ações intempéricas do meio e uso de produtos de limpeza e manutenção.

Palavras-chave: Rocha ornamental. Caracterização Tecnológica. Litotipos. Aplicação.

ABSTRACT

This paper is to determine mineralogical characteristics, textural petrographic, and physical and mechanical properties of seven rock types of gray and yellow colors from Espírito Santo (Swallow Gray, Corumbá Gray, Arabic and Santa Cecilia), and from the Northeast (Pocinhos Gray, Gray Corumbá and Ipanema Yellow) to evaluate the applicability depending on the environment and requests that these rocks will be exposed to when used as coatings. In the case of rocks of granitic composition for coatings, the determination of the physical (physical index), and mechanical (compressive strength, flexural strength, and Amsler wear) properties was done from NBR 15845/ABNT, and the results were compared to those established by NBR 15844 (Brazilian) and ASTM C 615 (US). The results of the gray materials, regardless of their origin, are consistent with those recommended by NBR 15844 and ASTM C 615, however, the yellow materials present values very close to the limits of the standards. This can be explained by the color which is indicative of changing processes, especially of ferromagnesian minerals, (oxidation, hidroxidation, hydration) that modify the characteristics of resistance of the materials through increased apparent porosity and water absorption. It is known that increased porosity reduces the resistance to compression, and thus the tensile strength (bending). The majority of rock types present values suitable for use as ornamental material, with restrictions to the rock types of yellow coloring, which require waterproofing when using it in humid areas. It is also observed that further petrographical/mineralogical analysis of the rock types is recommended for predicting their behavior towards the weathering action of the environment, and use of cleaning products and maintenance.

KEYWORDS: Ornamental rock, Technological characterization, Rock types. Application.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento das propriedades físico-mecânicas e das características químico-mineralógicas das rochas utilizadas como revestimento são fatores técnicos que podem afetar o preço do produto, as opções de uso e a valorização do material mediante as exigências do mercado. O valor comercial da rocha é consequência direta das características técnicas da rocha ornamental, bem como das características estéticas. A utilização mais adequada para uma dada rocha deve ser aquela que apresente o valor técnico, estético e comercial mais elevado (MOURA et. al., 2000).

O objetivo deste trabalho é caracterizar, do ponto de vista tecnológico, sete litotipos utilizados como rocha ornamental e determinar as correlações existentes entre suas características físicas e mecânicas. Discutem-se, ainda, os limites propostos e sugeridos por órgãos regulamentadores e entidades de pesquisa para algumas características, tais como índices físicos, desgaste Amsler, resistência à compressão uniaxial, resistência à flexão, coeficiente de dilatação térmica linear, resistência ao impacto, congelamento/degelo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os litotipos estudados são materiais graníticos de larga aplicação nas edificações sejam como revestimentos internos, externos, pisos, paredes, e também em áreas úmidas tais quais balcões e pias de cozinhas e banheiros e lavabos. A seguir listam-se as rochas desta pesquisa: os granitos amarelos Amarelo Ipanema, Pedra, PE; Arabesco, Nova Venécia, ES; Santa Cecília, Nova Venécia, ES. E os granitos Cinza Corumbá, PB; Pocinhos, PB; Cinza Corumbá, ES; e Cinza Andorinha.

2.2 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

O principal objetivo da realização de ensaios tecnológicos é a obtenção de parâmetros físicos, mecânicos que permitam a qualificação da rocha para uso no revestimento de edificações (FRASCÁ, 2001).

Os ensaios de caracterização tecnológica incluíram análises petrográficas, determinações da densidade, absorção d'água e porosidade aparentes, resistência à compressão uniaxial simples, resistência à flexão, resistência ao impacto, resistência ao desgaste abrasivo Amsler, resistência ao congelamento e degelo e dilatação térmica. Todos estes procedimentos obedeceram ao disposto nas normas NBR da ABNT conforme descrito na tabela 1, abaixo:

Tabela 1 – Ensaios para caracterização dos litotipos

ABNT NBR 15845	Análise petrográfica – Anexo A
	Densidade aparente – Anexo B
	Porosidade aparente – Anexo B
	Absorção d'água – Anexo B
	Coefficiente de dilatação térmica linear – Anexo C
	Resistência ao congelamento e degelo – Anexo D
	Resistência à compressão uniaxial – Anexo E
	Módulo de ruptura (flexão por três pontos) – Anexo E
	Resistência ao impacto de corpo duro – Anexo H
ABNT NBR 12042	Resistência ao desgaste

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Índices físicos

A tabela 2 mostra os resultados dos índices físicos dos granitos cinzas e amarelos estudados. Todos apresentam densidade aparente superior à especificada seja pela norma americana ASTM C-615 ($\geq 2560 \text{ Kg/m}^3$), seja pela norma NBR 15844 da ABNT ($> 2550 \text{ kg/m}^3$), referente a rochas silicáticas. Com relação à porosidade e absorção aparentes, entre os granitos cinza, apenas o Cinza Corumbá (PB) apresentou valores acima do sugerido pela norma da ABNT NBR 15844. Entretanto, os granitos amarelos, Arabesco e Santa Cecília, apresentaram valores acima do sugerido pela norma da ABNT NBR 15844, portanto porosidade e absorção d'água elevadas que indicam a necessidade de impermeabilização do material quando para aplicações em ambientes úmidos. Valores de porosidade elevada podem indicar a existência de poros intercomunicantes, por conseguinte, maior será a absorção d'água da rocha e provavelmente menor a sua resistência

mecânica. Os valores de porosidade e absorção aparentes do litotipo Amarelo Ipanema, apesar de atender à NBR 15844, são muito próximos desses limites.

Tabela 2 – Índices físicos

Litotipos	Índices físicos		
	Densidade Aparente (Kg/m ³)	Porosidade aparente (%)	Absorção d'água (%)
Cinza Corumbá PB	2638	1,114	0,497
Cinza Pocinhos PB	2710	0,408	0,151
Cinza Corumbá ES	2673	0,930	0,350
Cinza Andorinha ES	2703	0,830	0,310
Amarelo Ipanema PE	2623	0,944	0,358
Arabesco ES	2730	1,984	0,718
Santa Cecília ES	2637	1,487	0,567
Normas			
NBR 15844	>2550	1,00	0,40
ASTM C 615	> 2560	Não especificado	0,40

1

Sabe-se que a densidade das rochas varia inversamente à porosidade e à absorção e diretamente com a resistência: valores elevados de densidade indicam baixos valores de porosidade e absorção e alta resistência à compressão. Quanto menos vazios, mais densa é a rocha e, por conseguinte, mais resistente ela será. Assim, os resultados listados na tabela 2 indicam que os granitos Cinza Pocinhos PB, Corumbá ES e Andorinha ES e o Amarelo Ipanema podem ser usados sem restrição em revestimentos externos e em ambientes úmidos como balcões e pias de cozinhas e banheiros e lavabos, devido à baixa porosidade e absorção.

Entretanto, segundo Kalix (2011), devem-se observar variações mineralógicas, a existência ou não de microfissuras, relações de contato entre os grãos minerais, granulação, aspectos estruturais, entre outras, pois, influenciam diretamente a porosidade, densidade e absorção d'água, sendo esses elementos extremamente importantes na avaliação da durabilidade e considerável resistência mecânica ao longo do tempo.

3.2 Propriedades mecânicas

A tabela 3 apresenta os valores das propriedades mecânicas ensaiadas e também os limites estabelecidos pela norma brasileira e americana.

Segundo Frascá (2003), o ensaio de resistência à compressão determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços compressivos. Sua finalidade é

avaliar a resistência da rocha quando utilizada como elemento estrutural e obter um parâmetro indicativo de sua integridade física. Os granitos Cinza Pocinhos PE, Cinza Corumbá ES, Cinza Andorinha ES, apresentam considerável resistência à compressão uniaxial, fato compatível com seus índices físicos. Portanto, estes litotipos podem ser aplicados sem restrição em situações onde haja solicitações à compressão e, por conseguinte, em revestimentos internos e externos, pisos e paredes, áreas secas ou molhadas; contudo, apesar de elevados valores de resistência à compressão indicarem rochas de boa qualidade, densas (baixas porosidade e absorção d'água) sua composição mineralógica e textura devem ser levadas em consideração quando da decisão sobre sua aplicação. Quanto aos granitos amarelos, as resistências são inferiores às das cinzas, mas ainda superior a 100 Mpa, o que pode garantir bom desempenho quando de sua utilização; quando comparadas ao limite da NBR 15844, o granito Santa Cecília apresenta resistência à compressão inferior e, portanto, deve ser usado com restrições, notadamente em áreas úmidas como banheiros, cozinhas, lavabos e áreas externas. Quando se considera a ASTM C615, todas as amostras amarelas ficaram abaixo do limite.

O granito Cinza Corumbá PB apresenta a maior resistência à compressão (244,67 MPa) entre todas as rochas. Entretanto a absorção d'água e porosidade estão acima do recomendado pela NBR. Este fato pode ser explicado pelo elevado teor de quartzo (50%) presente em sua composição: o quartzo apresenta microfissuramento decorrente da condição natural de fratura, o que se traduz em maior porosidade e absorção d'água e rochas mais silicificadas apresentam maior resistência à compressão. Assim este litotipo pode ser aplicado em ambientes internos, em pisos, paredes, nas áreas sociais; contudo, não se recomenda aplicá-lo em cozinhas e em ambientes externos em virtude da porosidade elevada e absorção d'água acima do limite.

Tabela 22 - Resultados de ensaios mecânicos.

Litotipo	Resistência à compressão (MPa)	Módulo de ruptura (flexão) (MPa)	Resistência à impacto de corpo duro (m)	Índice de desgaste Amsler 1000m (mm/1000m)
Cinza Corumbá PB	244,67	21,73	*	0,398
Cinza Pocinhos PB	140,9	13,96	*	1,17
Cinza Corumbá ES	130,2	10,18	*	1,00
Cinza Andorinha ES	151,5	12,63	*	1,00
Amarelo Ipanema	105,42	14,11	0,90	1,60
Arabesco	106,52	7,59	0,35	0,794
Santa Cecília	86,42	7,61	0,40	0,82
Normas				
NBR 15844	>100,00	>10,00	>0,30	<1,00
ASTM C 615	>131,00	>10,34	Não especificado	Não especificado

A resistência a flexão dos granitos cinzas variaram entre 10,18 MPa e 21,73 MPa, enquanto dos granitos amarelos ficaram entre 7,59 MPa e 14,11 MPa. Comparados aos limites da NBR 15844 e ASTM C 615, são bastante satisfatórios exceto para os litotipos amarelos Arabesco e Santa Cecília. Portanto, os granitos Cinza Pocinhos PE, Cinza Corumbá ES, Cinza Andorinha ES podem ser usados em revestimentos externos que sejam aplicados com o uso de “inserts metálicos” constituindo as fachadas ventiladas ou aeradas. O Cinza Corumbá PB, apesar de exibir alta resistência à flexão, também apresenta porosidade elevada o que o contraindica para aplicações em áreas externas como fachadas. Quanto aos granitos amarelos, apenas o Amarelo Ipanema mostrou ser satisfatório quanto à resistência à flexão; entretanto, devido à sua coloração amarelada, indicativa de processos de alteração de seus minerais, pode ser apenas aplicado em ambientes internos, onde não haja umidade excessiva, a fim de evitar ainda mais deterioração. Os granitos Arabesco e Santa Cecília apresentam baixa resistência à flexão, contraindicados, portanto, em fachadas aeradas e ventiladas e áreas úmidas e indicados como revestimento em ambientes internos.

Segundo Frascá (2002), o ensaio de desgaste Amsler determina a resistência ao desgaste do material pétreo frente ao tráfego de pessoas e/ou veículos. Os resultados do desgaste Amsler dos vários litotipos estão descritos na tabela 3, comparados apenas com a especificação da NBR 14844, já que a norma ASTM C615 não este limite. As resistências à abrasão dos granitos cinzas ficaram bem próximas do valor da NBR, o que indica a utilização destas rochas em ambientes de pisoteio moderado. Apenas o Cinza Corumbá PB se mostrou bastante resistente ao desgaste abrasivo o que é explicado pelo elevado teor de quartzo (50%) desta rocha; apropriada, portanto, para ambientes de pisoteio intenso. Em relação aos granitos amarelos, apenas o Amarelo Ipanema ficou acima do valor normatizado, enquanto que o desgaste abrasivo do Arabesco e Santa Cecília ficaram abaixo de 1,00 mm. Os granitos Arabesco e Santa Cecília apresentam em sua composição mineral de dureza elevada como a granada ($D= 6$ a $7,5$) o que não ocorre com no Amarelo Ipanema. Conseqüentemente, o granito Amarelo Ipanema deve ser aplicado apenas em pisos onde o tráfego de pessoas seja moderado como em residências, e os granitos Amarelos Arabesco e Santa Cecília apropriados para níveis de pisoteio mais intensos com áreas de grande circulação de pessoas, desde que o ambiente não seja úmido por causa da presença das granadas.

Por questões técnicas, os ensaios de resistência a impacto de corpo duro foram realizados apenas nos granitos amarelos. O objetivo deste ensaio é simular a queda de objetos em um piso e observar os danos causados. Utiliza-se da energia potencial gravitacional, que é a energia

acumulada no corpo por causa da ação da gravidade, e é expressa pelo produto de sua massa, aceleração da gravidade e altura em relação ao referencial. Todos os granitos amarelos apresentaram valores satisfatórios. O granito Amarelo Ipanema apresentou a maior resistência a impacto de corpo duro, explicada pelo menor tamanho dos seus grãos que possibilitam uma maior coesão e imbricamento dos minerais; pode ser utilizada sem restrições como revestimento vertical em locais onde haja impactos como em saguões de aeroportos, supermercados, lojas, etc. As resistências ao impacto dos granitos amarelos Arabesco e Santa Cecília são próximas mais bem inferiores à do Amarelo Ipanema. Isto se deve, muito provavelmente, à foliação e tamanho de cristais (supramilimétrico) presentes nestas rochas, com capacidade de absorção de impacto limitada em função da foliação apresentada.

A resistência ao congelamento e degelo mede a variação deste parâmetro quando a rocha é submetida a vários ciclos de congelamento e descongelamento no estado saturado. Observa-se que os resultados apresentados no gráfico 1 se ajustam melhor aos limites propostos pela NBR 15844, pois foi realizado com rochas silicáticas brasileiras, de clima tropical, ao contrário dos valores fixados pela ASTM, que tem como base as rochas de clima subtropical.

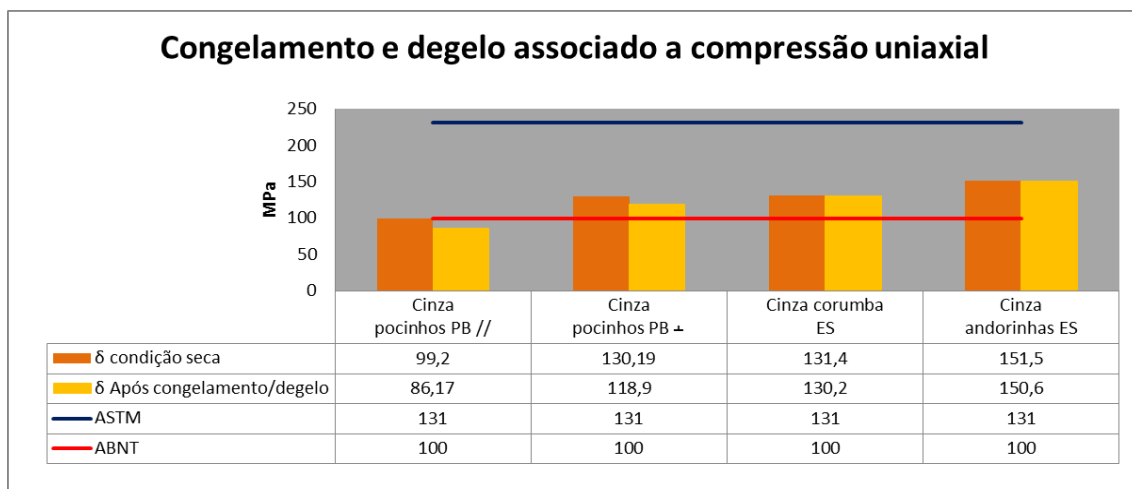


Gráfico 1 - 3 Congelamento e degelo associado a compressão uniaxial.

Os vários ciclos de congelamento/degelo provocaram no granito Cinza Pocinhos, perda de resistência de 13% na condição paralela, e 8,67% na condição perpendicular: a presença de biotita e a fina textura podem ter colaborado para esta queda de resistência significativa nas duas direções.

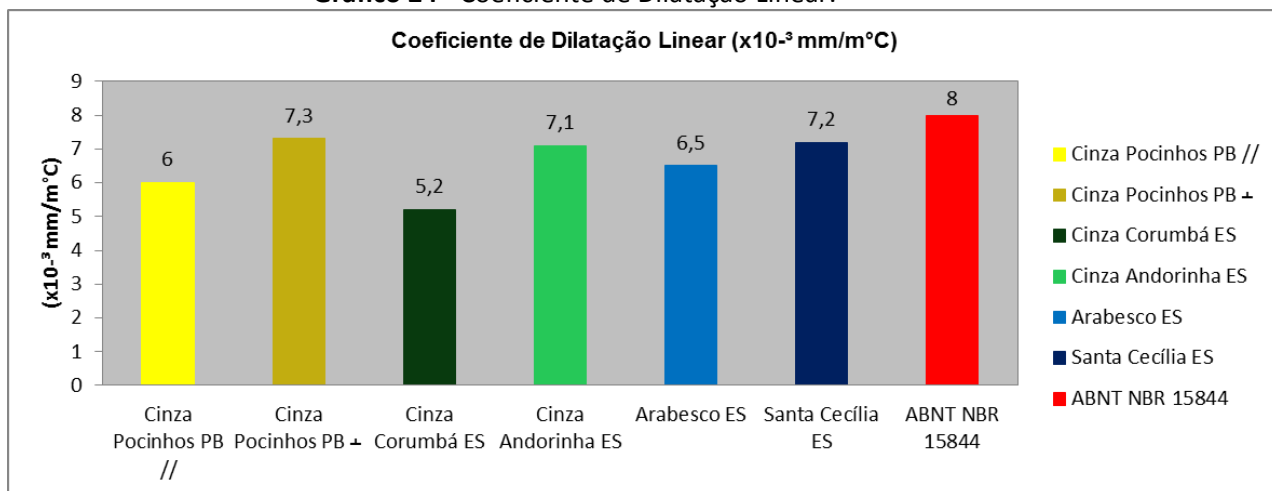
Adicionalmente detectou-se que o número de ciclos determinado pela norma é insuficiente, pois para rochas os Cinzas Corumbá ES e Andorinha ES que têm baixa porosidade, os 25 ciclos foram

insuficientes para causar perdas significativas na resistência, fato provavelmente relacionado ao baixo microfissuramento e pequena alterabilidade dos minerais.

Como as rochas se dilatam e se comprimem, quando submetidas a alterações contínuas e bruscas de temperatura, é importante caracterizar a reação do material rochoso a este parâmetro, o coeficiente de dilatação térmica linear, pois ele definirá os espaçamentos que deverão ser utilizados durante os procedimentos de assentamento.

De acordo com a NBR 15844, o valor máximo de coeficiente de dilatação térmica para granitos ornamentais é de $8,0 \times 10^{-3} \text{ mm/m}^\circ\text{C}$.

Gráfico 24 - Coeficiente de Dilatação Linear.



Sendo assim, com base nos valores apresentados no gráfico 2, acima, percebe-se que litotipos estudados apresentaram valores de dilatação abaixo do valor máximo, considerados assim, como de elevado padrão de qualidade, podendo ser utilizados tanto na situação de pisos em ambientes internos e externos, bem como em paredes e fachadas convencionais e ventiladas.

4. CONCLUSÕES

Todos os litotipos estudados apresentaram valores de densidade aparente satisfatórios conforme a NBR 15844 e ASTM C 1615. Em relação à porosidade e absorção d'água aparentes, o Cinza Corumbá PB (1,114% - 0,497%), e os granitos amarelos Arabesco e Santa Cecília apresentaram resultados elevados (1,984% - 0,718% e 1,487% - 0,567%, respectivamente). Recomenda-se, pois, a impermeabilização destes materiais para aplicações em ambientes úmidos e áreas externas.

Quanto à resistência à compressão uniaxial, o granito Cinza Corumbá PB apresenta valor bastante elevado em relação aos limites das normas NBR 15844 e ASTM C 615, o que é explicado pelo elevado teor em quartzo porque rochas mais silicificadas apresentam maiores resistências. O

granito amarelo Santa Cecília (ES) apresenta um desempenho abaixo do recomendado pelas duas normas, explicado pelo grau de alteração (causado por processos de oxidação, hidroxidação e hidratação) que é indicado pela coloração amarelada desta rocha.

O granito Cinza Pocinhos PB foi aquele que mais apresentou perda de resistência quando submetido aos ciclos de congelamento/degelo. O Cinza Corumbá e Cinza Andorinha, originários do Espírito Santo, tiveram perda de resistência muito baixa. Podem, portanto, ser usados em ambientes onde há congelamento da água com Europa e América do Norte e Japão.

Quanto à resistência à flexão, o Cinza Corumbá PB apresenta resultado elevado; o valor da resistência à flexão (tração) é cerca de 10% do valor de resistência à compressão, o que explica o elevado valor para este litotipo. Pode ser usado como revestimento com “inserts” metálicos pois suporta bem a ação dos ventos. No entanto, os granitos Arabesco e Santa Cecília apresentam baixa resistência o que contraindica a aplicação em fachadas aeradas ou ventiladas.

O cinza Corumbá PB apresenta uma elevada resistência ao desgaste abrasivo, o que está relacionado ao alto teor de quartzo, podendo pois ser usado em ambientes de grande pisoteio. Já o granito Cinza Pocinhos PB e o Amarelo Ipanema (PE) tiveram o valor acima do especificado na norma NBR 15844. Assim estes materiais devem ser usados com restrição quando se trata de revestimentos de pisos.

O resultado do ensaio de resistência ao impacto de corpo duro do granito Amarelo Ipanema (PE) indica uma resistência mediana a alta, podendo ser utilizada como rocha ornamental em revestimentos de paredes e pisos onde há possibilidade de choques como em aeroportos, supermercados e centros comerciais.

Os coeficientes de dilatação térmica de todos os litotipos são menores que o valor da NBR 15844; podem, pois, ser utilizados em pisos em ambientes internos e externos, bem como em paredes e fachadas convencionais e ventiladas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 12042. Materiais Inorgânicos – Determinação do Desgaste por Abrasão. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15845: Rochas para revestimento Métodos de ensaio. São Paulo: ABNT; 2010.

ASTM C 615. Standard Specification for Granite Dimension Stone.

FRASCÁ, M. H. B. O. CURSO: **Qualificação de Rochas Ornamentais e para Revestimento de Edificações**: Caracterização Tecnológica e Ensaio de Alterabilidade. I Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais e II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste, Anais. Salvador, Bahia. IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 2001. 128-135 p.

FRASCÁ, M. H. B. O. Qualificação de rochas ornamentais e para revestimento de edificações: caracterização tecnológica e ensaios de alterabilidade. In: **Anais do I Simp. Brasileiro de Rochas Ornamentais e II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste**; Salvador, Brasil. Rio de Janeiro: Ed. CETEM/MCT; 2002. p.128-135.

KALIX, T. M. F. **Estudos de Caracterização Tecnológica com ênfase em Alterabilidade dos tipos comerciais do granito Marrom Imperial**. Dissertação de Mestrado. UFPE - Recife. 2011.

MOURA, AC, GRADE, J, RAMOS, JMF, MOREIRA, AD & GOMES, L. **Granitos e rochas similares de Portugal**. IGM Editora. 2000. 179 p.

ESTIMATIVA DE INCERTEZA DE MEDIÇÃO DO MÉTODO DO PÊNDULO BRITÂNICO PARA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO ESCORREGAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Letícia Valdo¹, Nuria Fernández Castro²

¹ Bolsista PCI, Núcleo Regional do Espírito Santo, Centro de Tecnologia Mineral – NRES/CETEM/MCTI

² Tecnologista Pleno, Núcleo Regional do Espírito Santo, Centro de Tecnologia Mineral – NRES/CETEM/MCTI

ncaastro@cetem.gov.br

RESUMO

Uma das propriedades mais importantes para a utilização de diversos materiais como revestimento de pisos é o coeficiente de atrito dinâmico, já que essa propriedade está relacionada a questões de segurança quanto à locomoção. Para alguns materiais, como os cerâmicos, já existem ensaios normatizados para sua determinação, assim como a exigência da declaração do fabricante quanto à resistência ao escorregamento que cada produto oferece. No caso das rochas de revestimento, a determinação de tal propriedade não está normatizada no escopo normativo brasileiro de métodos de ensaio, motivo pelo qual estão sendo estudados diversos métodos, com a finalidade de incorporar, nesse escopo, o mais adequado em termos de simplicidade e confiabilidade. Dentre eles, um largamente utilizado é o método do Pêndulo Britânico. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a confiabilidade desse método por meio da estimativa da incerteza de medição. Foram realizados ensaios, com o método do pêndulo, em 13 tipos de materiais comerciais, no Laboratório de Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais - LABRO do Núcleo Regional do Espírito Santo do Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/NR-ES e no piso assentado do Shopping Cachoeiro. O número de amostras e medições necessárias para este estudo foi determinado mediante a análise estatística de dados anteriores, considerando os níveis de confiança de 95% e 99%. Estimaram-se as incertezas das quase 4.500 medições realizadas, seguindo a metodologia do "Guia para expressão de incerteza de medição", do Comitê Misto para os Guias de Metrologia. Os resultados desse trabalho mostraram que esse método apresenta boa confiabilidade e grande potencial de ser incorporado ao conjunto de normas técnicas brasileiras.

PALAVRAS-CHAVE: Resistência ao Escorregamento, Atrito, Normalização, Pêndulo Britânico.

ABSTRACT

One of the most important properties for stone floorings is the dynamic coefficient of friction, since this property is related to security issues for pedestrian locomotion. Brazilian standard methods of testing for natural stones do not comprehend the determination of such coefficient, as standards for others materials, such as ceramics, do. Thus, different tests methods for determining that property are being studying in CETEM. One test widely used is the determination of skid resistance by means of a Pendulum, so this study aimed to evaluate its reliability when testing stone tiles. In order to do that, tests were carried out with the pendulum method, on 13 types of commercial materials, in the Laboratory for Technological Characterization of Natural Stones - LABRO of the Espírito Santo's Unit NR-ES of the Centre for Mineral Technology - CETEM, a research institute of the Ministry of Science, Technology and Innovation of Brazil. Tests were also performed on the flooring of a local mall, named Shopping Cachoeiro. The number of specimens and measurements, necessary for confidence levels of 99% and 95%, were calculated over statistical analysis of author's previous measurements. The almost 4,500 data obtained from those tests and the data given by the Pendulum's manufacturer were used to estimate the measurements uncertainties, following the Brazilian version of the 'Guide to the expression of uncertainty in measurement' of the Joint Committee for Guides in Metrology. Results showed that the pendulum test method has good reliability, and potential to be included within Brazilian technical standards for natural stones test methods.

KEYWORDS: Slip Resistance, Friction, Standarization, British Pendulum.

1. INTRODUÇÃO

O setor de rochas ornamentais brasileiro destaca-se por uma produção de mais de 10 milhões de toneladas anuais e por sua considerável variedade de produtos sendo o principal foco do setor a exportação desses produtos, principalmente, para o mercado norte-americano, no qual é o maior fornecedor de materiais processados (ABIROCHAS, 2015). Porém, o mercado internacional é muito exigente no que se refere à qualidade e o Brasil precisa estabelecer um

sistema de avaliação da conformidade, baseado em normas que auxiliem o setor a se manter competitivo.

O principal uso das rochas ornamentais brasileiras é o de revestimento de fachadas e pisos e uma das propriedades mais importantes para a utilização desses revestimentos como piso é o coeficiente de atrito dinâmico, já que essa propriedade está relacionada a questões de segurança quanto à locomoção. Para Powers *et. al.* (2007) os custos financeiros associados com quedas deverão exceder 85 bilhões de dólares americanos até o ano de 2020, quando se estima que mais de 17 milhões de quedas que resultam em ferimentos irão ocorrer nos Estados Unidos.

No setor cerâmico, um dos requisitos de conformidade de pisos, sobretudo em ambientes públicos e industriais, é sua segurança ao escorregamento, evitando acidentes com seus usuários (UENO, 1999). No Brasil, para caracterizar a resistência ao escorregamento de superfícies de pisos cerâmicos a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT recomenda o método de determinação do coeficiente de atrito pelo sistema *Tortus*, de acordo com a norma ABNT NBR 13.818:1997 - "Placas cerâmicas para revestimento - Especificações e métodos de ensaios".

O setor brasileiro de rochas ornamentais, entretanto, não conta, entre suas normas técnicas, com um ensaio para determinar tal característica. Por esse motivo, a norma de desempenho de edificações habitacionais (ABNT NBR 15.575:2013), que dita exigências relativas à segurança, apenas orienta à utilização de sistemas que melhorem ou contribuam para aumentar o coeficiente de atrito, quando se trata de pisos de rochas polidas. Já o Comitê Europeu de Normalização - CEN e a Sociedade Americana de Testes e Materiais - ASTM possuem normas específicas para determinação do coeficiente de atrito, por diversos métodos, sendo um deles o do Pêndulo Britânico (EN 14.231:2003 - "*Natural stone test methods - Determination of the slip resistance by means of the pendulum tester*" e ASTM E 303/1993 - "*Standard test method for measuring surface frictional properties using the british pendulum tester*").

2. OBJETIVOS

Estimar a incerteza de medição do ensaio pelo método do Pêndulo Britânico para avaliar a resistência ao escorregamento de rochas ornamentais, com vistas a propor a normalização desse ensaio no Brasil a partir de adaptações, a serem sugeridas, no conteúdo da norma europeia EN 14.231:2003 - "*Natural stone test methods - Determination of the slip resistance by means of the pendulum tester*".

3. METODOLOGIA

O ensaio de resistência ao escorregamento pelo método do Pêndulo Britânico foi realizado com o dispositivo medidor *Portable Skid Resistance Tester* (medidor portátil da resistência ao escorregamento, da marca Munro Instruments., sendo o ensaio realizado na situação seca e úmida e com o dispositivo equipado com a borracha normalizada TRRL (5S). O procedimento de ensaio, ilustrado pela Figura 1 (etapas de 1 a 3), consistiu em posicionar o corpo de prova, medir e registrar a temperatura de ensaio e determinar o comprimento de deslizamento da borracha sobre o corpo de prova. As medições começam quando o braço do pêndulo é liberado a partir de uma posição horizontal (etapa 1), o braço pendular atinge a superfície do corpo de prova com uma velocidade constante (etapa 2). A distância percorrida pelo pêndulo depois de colidir no corpo de prova, é determinada pela resistência de atrito na superfície do corpo de prova. Os valores de resistência ao escorregamento (SRV) são lidos diretamente a partir da escala graduada (etapa 3).

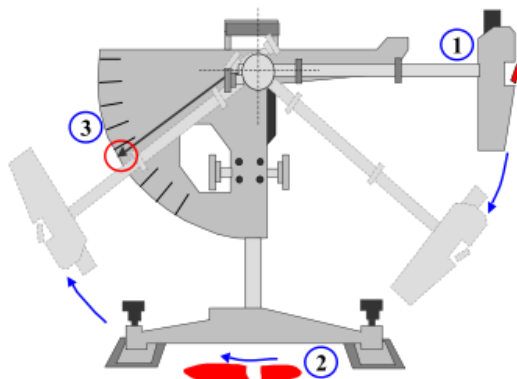


Figura 1 - Etapas de ensaio do *Portable Skid Resistance Tester* (Pêndulo Britânico).

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais - LABRO do Núcleo Regional do Espírito Santo do Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/NR-ES e no piso do Shopping Cachoeiro. Para os ensaios realizados em laboratório, foram selecionados 13 tipos de rochas atualmente comercializadas para uso como revestimento de pisos e fachadas no Brasil e no exterior: os granitos comerciais Alaska, Arabesco, Blue Fire, Crazy Horse, Fiorito, Ocre, Preto Escovado, Suprime, Tiger, Volcano e Volcano Escovado, o Mármore Branco e o esteatito comercializado como Soapstone Black. Já os ensaios realizados no Shopping Cachoeiro, foram realizados no material comercialmente conhecido como Arabesco. Dentro do Shopping

foram selecionados pontos estratégicos tais como a entrada, próximo às lojas, próximo à escada rolante, na praça de alimentação e na entrada dos banheiros.

O planejamento dos ensaios foi realizado com base em uma análise estatística dos resultados obtidos por Valdo *et. al.* (2014). Os resultados dos autores evidenciaram uma curva normal e, com isso, foi utilizada a distribuição normal de frequência para o cálculo dos corpos de prova necessários para este trabalho.

Neste presente trabalho foram considerados os níveis de 99 e 95% de confiança, por conferirem alto grau de confiabilidade dos resultados, e por corresponderem à intervalos muito utilizados na comunidade acadêmica para cálculos de incertezas. Ao atribuir intervalos de 99 e 95% de incertezas, utilizaram-se os índices "z" = 2,575 (99%) e "z" = 1,96 (95%) para a determinação do número de corpos de prova necessário e também o número de medições a serem realizadas em cada corpo de prova.

Para o nível de 99% de confiança os cálculos evidenciaram a necessidade da utilização de 15 corpos de prova e a realização de 16 medições em cada um deles. Já para o intervalo de 95% de confiança foram necessários 8 corpos de prova e a realização de 10 medições em cada.

Para conhecer as incertezas de ensaio pelo método do Pêndulo Britânico calcularam-se, a partir dos resultados obtidos, as médias, os desvios padrão, as incertezas padrão correspondentes às medições ("Tipo A"), as incertezas padrão associadas à calibração do dispositivo ("Tipo B"), e as incertezas combinadas e expandidas. A análise de incertezas aqui conduzida está em conformidade com o guia para a expressão da incerteza de medição - GUM 2008 (INMETRO, 2012).

Os cálculos deste trabalho iniciaram-se pela determinação da média (\bar{x}) dos resultados encontrados por Valdo *et. al.* (2014) pela equação 1.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N} \quad (1)$$

Em seguida, foi calculado o desvio padrão (s) dos resultados segundo a equação 2.

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (2)$$

O método de avaliação "tipo A" foi caracterizado pela realização de repetidas medições e pelo cálculo do desvio padrão experimental dos resultados obtidos. A incerteza padrão $u(x)$ relacionada a esse método ("tipo A") foi calculada como mostra a equação 3.

$$u(x) = s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

Já para o método do "tipo B" foi necessário utilizar a incerteza expandida (U_p) do pêndulo, que se encontra no certificado de calibração, para o cálculo da incerteza padrão do equipamento de ensaio. A incerteza expandida (U_p) foi transformada em incerteza padrão $u(x_i)$ (equação 4) dividindo U_p/k , onde k representa o fator de abrangência usado como multiplicador da incerteza padrão, de modo a obter uma incerteza expandida. O fator de abrangência utilizado pelo certificado de calibração foi de $k=2$, que representa um nível de confiança de aproximadamente 95%.

$$u(x_i) = \frac{U_p}{k} \quad (4)$$

Finalmente, as duas incertezas foram combinadas (equação 5) para se calcular a incerteza expandida (equação 6) aplicando um fator de abrangência $k=2,97$ para um nível de 99% de confiança e um grau de liberdade igual a $15-1=14$ e, também, um fator de abrangência $k=1,96$ para um nível de 95% de confiança e um grau de liberdade igual a $8-1=7$.

$$u_c = \sqrt{(u_1)^2 + (u_2)^2 + \dots + (u_n)^2} \quad (5)$$

$$U = k \times u_c \quad (6)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 mostra os resultados de ensaio realizado no LABRO, na situação seca, considerando um intervalo de 95% de confiança. Esses resultados se assemelham com os resultados de ensaio realizados no LABRO na situação seca considerando o intervalo de 99% de confiança e com os resultados dos ensaios realizados no Shopping nos diferentes níveis de confiança.

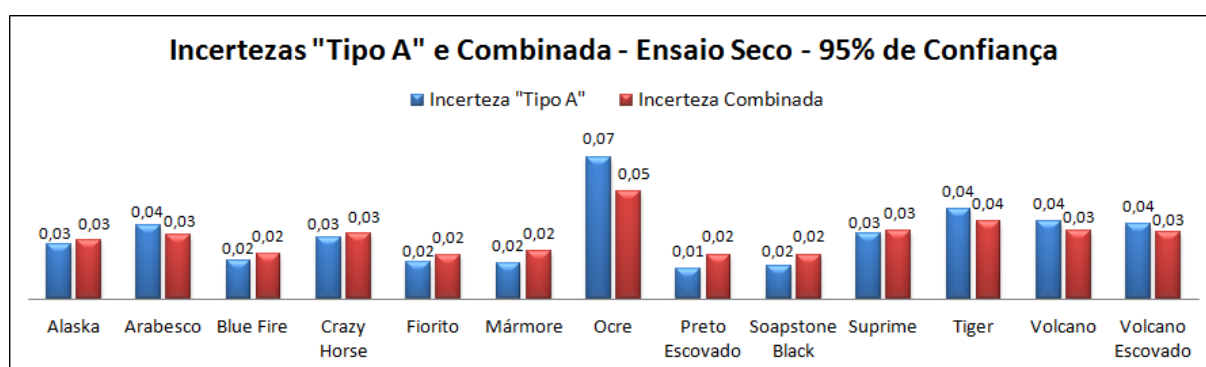
Ao observar a tabela 1, nota-se, que as incertezas "Tipo A", que são relacionadas às fontes de incertezas de repetidas medições, do operador do equipamento e do próprio material, apresentaram uma homogeneidade nos resultados para os diferentes tipos de materiais e nota-se, ainda, que os valores das incertezas "Tipo A" são demasiadamente pequenos quando comparados com os valores de suas respectivas médias. Observa-se também que a incerteza expandida para todos os materiais apresentou valores baixos e homogêneos. Isso implica que o procedimento de ensaio pelo método do Pêndulo Britânico é bastante confiável.

Tabela 1. Resultados de ensaio realizado no LABRO considerando um intervalo de 95% de confiança.

Resultados expressos em valores de resistência ao escorregamento (SRV) (adimensional).

ENSAIO SECO (95% de Confiança) - LABRO								
Nome Comercial	Média	Desvio Padrão	Incerteza "Tipo A"	Incerteza Combinada	Incerteza Expandida (95%)	Limite Inferior	Limite Superior	Potencial de Deslizamento
Alaska	48,40	3,77	0,03	0,03	0,07	48,33	48,47	Baixo
Arabesco	56,86	5,90	0,04	0,03	0,08	56,78	56,94	Baixo
Blue Fire	63,13	3,43	0,02	0,02	0,05	63,08	63,18	Baixo
Crazy Horse	45,43	3,98	0,03	0,03	0,08	45,35	45,51	Baixo
Fiorito	63,68	3,28	0,02	0,02	0,05	63,63	63,73	Baixo
Mármore	54,25	2,71	0,02	0,02	0,06	54,19	54,31	Baixo
Ocre	78,95	15,85	0,07	0,05	0,13	78,82	79,08	Extremamente Baixo
Preto Escovado	52,53	2,19	0,01	0,02	0,05	52,48	52,58	Baixo
Soapstone Black	58,04	2,71	0,02	0,02	0,05	57,99	58,09	Baixo
Suprime	42,96	3,95	0,03	0,03	0,08	42,88	43,04	Baixo
Tiger	53,24	6,75	0,04	0,04	0,09	53,15	53,33	Baixo
Volcano	53,45	5,86	0,04	0,03	0,08	53,37	53,53	Baixo
Volcano Escovado	55,30	5,88	0,04	0,03	0,08	55,22	55,38	Baixo

Ao se comparar a incerteza combinada com a incerteza do "Tipo A" em cada material ensaiado a seco, pode-se perceber que os valores são próximos (Figura 2). Tal comprovação implica que a incerteza associada às medições ("Tipo A") tem maior influência que a incerteza associada ao equipamento de ensaio ("Tipo B"). Isso pode ser explicado pela variabilidade natural dos materiais ensaiados, o que é corroborado pelos desvios padrão dos resultados.

**Figura 2** - Incertezas "Tipo A" e combinada de cada material. (95% de Confiança).

A tabela 2 mostra os resultados de ensaio realizado no LABRO, na situação úmida, considerando um intervalo de 95% de confiança. Esses resultados também se assemelham com os

resultados de ensaio realizados no LABRO na situação úmida considerando o intervalo de 99% de confiança e com os resultados dos ensaios realizados no Shopping nos diferentes níveis de confiança.

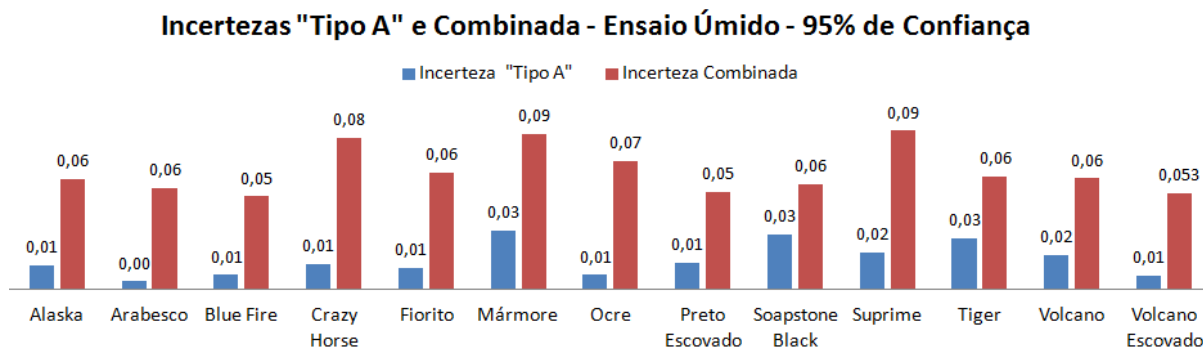
É possível observar que a incerteza "Tipo A" permanece com valores baixos e homogêneos e que esses valores continuam sendo demasiadamente pequenos quando comparados com o valor de suas respectivas médias. A incerteza expandida também apresentou valores baixos, mesmo sendo maiores que aqueles obtidos para os ensaios em condição seca, e homogêneos, certificando que o método de ensaio pelo Pêndulo Britânico na situação úmida também é bastante confiável.

Tabela 2. Resultados de ensaio realizado no LABRO considerando um intervalo de 95% de confiança. Resultados expressos em valores de resistência ao escorregamento (SRV) (adimensional).

ENSAIO ÚMIDO (95% de Confiança) - LABRO								
Nome Comercial	Média	Desvio Padrão	Incerteza "Tipo A"	Incerteza Combinada	Incerteza Expandida (95%)	Limite Inferior	Limite Superior	Potencial de Deslizamento
Alaska	17,84	0,91	0,01	0,06	0,15	17,69	17,99	Alto
Arabesco	19,39	0,31	0,00	0,06	0,13	19,26	19,52	Alto
Blue Fire	21,16	0,64	0,01	0,05	0,12	21,04	21,28	Moderado
Crazy Horse	12,53	0,68	0,01	0,08	0,20	12,33	12,73	Alto
Fiorito	17,39	0,79	0,01	0,06	0,15	17,24	17,54	Alto
Mármore	12,03	1,51	0,03	0,09	0,20	11,83	12,23	Alto
Ocre	15,21	0,45	0,01	0,07	0,17	15,04	15,38	Alto
Preto Escovado	20,73	1,18	0,01	0,05	0,13	20,60	20,86	Moderado
Soapstone Black	21,63	2,55	0,03	0,06	0,14	21,49	21,77	Moderado
Suprime	12,43	0,99	0,02	0,09	0,21	12,22	12,64	Alto
Tiger	19,31	2,12	0,03	0,06	0,15	19,16	19,46	Alto
Volcano	18,46	1,37	0,02	0,06	0,15	18,31	18,61	Alto
Volcano Escovado	29,90	0,57	0,01	0,05	0,13	29,77	30,03	Moderado

Ao se comparar a incerteza "Tipo A" com a incerteza combinada em cada material (Figura 3) é possível perceber que, para a maioria deles, as incertezas não apresentaram valores próximos. A incerteza "Tipo A" apresentou valores menores e isso implica que a incerteza associada ao equipamento ("Tipo B"), mesmo sendo muito pequena, tem maior influência no procedimento de ensaio realizado à úmido. Isso pode ser explicado devido ao efeito produzido pela lâmina d'água retida sobre a superfície da amostra (aquaplanagem), que diminui a influência da superfície do corpo de prova.

Figura 3 - Comparação entre as incertezas "Tipo A" e combinada do ensaio à úmido para o nível de 95% de confiança. Resultados expressos em valores adimensionais.



5. CONCLUSÕES

Após este estudo, verifica-se a importância de caracterizar corretamente a resistência ao escorregamento de um piso, com o fim de se evitar danos físicos provocados por quedas, principalmente em ambientes públicos e industriais. É importante frisar que todos os sistemas de medição apresentam um erro associado à medição e por isso não basta apenas calcular a média dos resultados, mas deve-se conhecer principalmente o erro associado a ela. Sendo assim, este trabalho buscou analisar as incertezas associadas ao procedimento de ensaio pelo método do pêndulo britânico.

Todos os resultados obtidos revelaram uma homogeneidade nas incertezas relacionadas às medições ("Tipo A"), as quais apresentaram um valor baixo em comparação às médias. As incertezas expandidas também apresentaram valores baixos e homogêneos, revelando ser um método bastante confiável, o que justifica sua ampla utilização por diversas entidades internacionais. A incerteza associada ao equipamento ("Tipo B") influencia pouco nos procedimentos de ensaio garantindo uma boa confiabilidade dos resultados por meio do Pêndulo Britânico e os ensaios realizados à úmido apresentaram maior influência dessa incerteza devido, provavelmente, ao efeito da água sobre a superfície de ensaio.

Os resultados de ensaio para os diferentes níveis de confiança mostraram ser bastante estáveis pois apresentaram valores de incerteza demasiadamente pequenos. Os resultados demonstraram que um nível de confiança de 95% é suficiente para a determinação do número de medições necessárias, com apenas 8 corpos de prova e 10 medições em cada. Isso implica em menor tempo de ensaio e menores custos associados com os corpos de prova.

Considerando a falta de um ensaio normatizado para determinação do coeficiente de atrito no setor de rochas ornamentais brasileiro, o método do Pêndulo apresenta-se como uma boa opção em potencial, pelos resultados obtidos neste estudo. No entanto, deve-se ainda continuar o estudo com o deslizador (simulação do pé calçado e mais recomendado para materiais polidos) e realizar um programa interlaboratorial para verificar a reprodutibilidade do método. Recomenda-se também analisar outros métodos utilizados e outros tipos de deslizadores para o caso de ensaio a umido.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 13.818:1997 - **Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaios.**

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR ISO/IEC 15.575:2013 - **Desempenho de edificações habitacionais.**

ASTM - *American Society for Testing and Materials* - E 303 - 93 (2013) - **Standard test method for measuring surface frictional properties using the british pendulum tester.**

CEN - *European Committee for Standardization* - BS EN 14.231:2003 - **Natural stone test methods - Determination of the slip resistance by means of the pendulum tester.**

POWERS, C. *et. al.*, - **Avaliação da Passadeira tribômetro Leituras em Avaliando deslizamento Resistance: Uma Abordagem Baseada em Gait** - J Forensic Sci, 52, No. 2, pp 400-405. março de 2007.

UENO, O. K. - **Avaliação metrológica de um sistema de medição do coeficiente de atrito em pisos cerâmicos** - Dissertação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

VALDO, L; PEITER, C. C.; SILVEIRA, L. L. L. - Determinação do coeficiente de atrito dinâmico de superfícies de rochas ornamentais brasileiras ensaiadas no *tilt test* e pêndulo britânico - **XXII Jornada de Iniciação Científica do Centro de Tecnologia Mineral** - Rio de Janeiro, RJ: CETEM/MCTI, 2014.

IDENTIFICAÇÃO DOS MINERAIS DO GRANITO AZUL SUCURU ATRAVÉS DA TÉCNICA DA DIFRAÇÃO DE RAIOS X

Lúcio F. M. Cavalcanti¹, Felisbela M. C. Oliveira², Evenildo B. Melo³, Amanda C. Fernandes⁴

¹ Estudante, Universidade Federal de Pernambuco

² Professor, Universidade Federal de Pernambuco

³ Professor, Universidade Federal de Pernambuco

⁴ Estudante, Universidade Federal de Pernambuco

¹flaviomat2004@hotmail.com

RESUMO

A técnica de difração de raios X tem sido amplamente utilizada para a determinação de fases cristalinas em rochas com finalidades ornamentais e/ou aplicação como insumos da construção civil, propiciando a investigação de pequeníssimas estruturas da matéria. Partindo desse princípio, o método de DRX permite caracterizar um ou mais minerais presentes na rocha. A caracterização mineralógica descreve quais minerais estão presentes na amostra, feita por meio da comparação de seus difratogramas com padrões de referência, disponíveis em bancos de dados de DRX, observando os picos mais intensos de cada composto cristalino presente no banco de dados e comparando aos picos dos difratogramas da amostra, para então serem observados os principais minerais existentes na rocha. Essa pesquisa busca mostrar os minerais presentes na estrutura desse material para então analisar possíveis aplicações industriais desse material. Em granitos, a grande quantidade de quartzo, provoca microfissuras na produção de blocos para produção de chapas para o mercado produtor e seu elevado grau de orientação dificulta a identificação e caracterização das demais fases presentes. Mas, baseando-se nesse princípio, é apresentado neste trabalho um método simples e confiável para a determinação de características gerais do granito Azul Sucuru através da técnica de difração de raios-X, para observar a presença de minerais ferro-magnesianos em sua estrutura, estando sujeitos a susceptibilidade a processos de oxidação, potencializados em atmosferas úmidas. Após análises dos difratogramas, observa-se que as amostras analisadas pela difração de raios X apresentaram mais de uma fase mineral por amostra (de 03 a 07 fases minerais) após a caracterização, o que era esperado por se tratar de materiais rochosos (constituídos por diversas fases minerais, em geral). Logo, a partir da DRX possibilita a identificação dos minerais principais (ao passo que a microscopia não foi capaz de identificar alguns minerais, mas sim seus grupos), sendo esse um método que pode ser considerados

complementar para a caracterização mineralógica de rochas. A partir dos resultados obtidos pretende-se verificar a existência da cordierita nesse material, a qual potencializa a cor azul da rocha analisada, além dos minerais presentes no pó da brita desse material, proporcionando uma possível aplicação na indústria da construção civil e como rocha ornamental e de revestimento. Após os estudos dos difratogramas percebe-se que o elevado teor de quartzo (25%) presente nesta rocha, sendo este o mineral essencial de dureza bastante elevada (dureza 7,0 na Escala de Mohs) mais abundante na Crosta Terrestre e pela presença de cordierita (5%), mineral do grupo dos ciclosilicatos, de dureza tão elevada (sete, 7) quanto o quartzo. Desse modo, este material pode ser usado. É um tipo de rocha que pode ser aplicada em revestimentos internos, externos, áreas secas e úmidas e também em pisos de grande intensidade de pisoteio.

Palavras-chave: difração de raios X, granito sucuru; quartzo; cordierita.

ABSTRACT

The technique of X-ray diffraction has been widely used for the determination of crystalline phases in rocks with ornamental purposes and / or application as construction inputs, allowing the investigation of tiny structures of matter. Based on this principle, the XRD method to characterize one or more minerals in the rock. The mineralogical characterization describes what minerals are present in the sample, made by comparing their diffraction patterns with reference standards available in DRX databases, noting the most intense peaks of each crystalline compound present in the database and comparing the peaks the XRD patterns of the sample to be observed then the main existing in rock minerals. This research aims to show the minerals present in the structure of the material and then analyze possible industrial applications of this material. In granites, the large amount of quartz, causes microcracks in the production of blocks for the production of plates for the producer market and its high degree of orientation hinders the identification and characterization of the remaining phases. But based on this principle, is presented in this paper a simple and reliable method for determining general characteristics of granite Blue Sucuru through the technique of diffraction X-rays, to observe the presence of minerals iron-magnesium in its structure, are subject to susceptibility to oxidation processes exacerbated in humid atmospheres. After analysis of the diffraction patterns, it is observed that the samples analyzed by X-ray diffraction showed more of a mineral phase per sample (03-07 mineral phases) after

characterization, which was expected because it is rocky materials (made of various mineral phases, in general). Therefore, from the DRX allows the identification of the major minerals (whereas microscopy has not been able to identify certain minerals, but their groups), this being a method that can be considered complementary to the mineralogical characterization of rocks. From the results obtained it is intended to verify the existence of cordierite this material, which enhances the blue color of the examined rock, besides the minerals present in the gravel of the material powder, providing a possible application in the construction industry and as an ornamental rock and coating. post studies of diffraction it is clear that the high quartz content (25%) present in this rock, which is the essential mineral to very high hardness (hardness 7.0 on the Mohs scale) more abundant in the Earth's Crust and the presence of cordierite (5%), mineral group of ciclosilicatos, so high hardness (seven, 7) and quartz. Thus, this material can be used is a type of rock that can be applied to internal and external coatings, dry and wet areas and in intensive trampling floors.

KEYWORDS: X-ray diffraction, sucuru granite; quartz; cordierite.

1. INTRODUÇÃO

Segundo a ABIROCHAS (2001), as rochas ornamentais e de revestimento, também designadas pedras naturais, rochas lapídeas, rochas dimensionais e materiais de cantaria, abrangem os tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados através de esquadrejamento, polimento, lustro, etc. O Brasil está entre os cinco maiores produtores de rochas ornamentais do mundo. Entretanto características intrínsecas dessas rochas devem ser analisadas e avaliadas para verificação de possíveis aplicações no mercado produtor.

Assim, a caracterização mineralógica do “Granito Azul Sucuru” utiliza a técnica de difração de raios-X para fazer uma análise qualitativa dos minerais presentes na amostra britada do material extraído e sugerir possíveis aplicações do mesmo na construção civil, seja como material de revestimento e/ou como agregados na forma de brita ou fração areia na produção de argamassas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. GEOLOGIA REGIONAL E LOCAL

Segundo o Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, CPRM (1998), a região objeto deste projeto de lavra está posicionada no interior de uma unidade geotectônica, denominada de Terreno Alto Moxotó e, mais especificamente, por litologias do Complexo Sumé, constituídas por gnaisses, ortognaisses e migmatitos, calcários metamórficos, faixas de anfibolitos, ortognaisses e migmatitos e rochas plutônicas granulares, na forma de stocks, com pouca ou nenhuma expressão topográfica e rochas graníticas filonianas.

Neste contexto ocorrem estruturas rochosas, na forma de diques intrusivos, pós-tectônicos, discordantes, deformados e encaixados em rochas migmatíticas e gnáissicas do embasamento pré-cambriano, sob a forma de diques verticalizados a subverticalizados, orientados na direção N-S, constituídos por amontoados de matacões, posicionados sobre os diques ou parcialmente deslocados, observado na figura 1, a seguir.

Figura 1 - Matacões em situação de lavra. Fonte: o autor.



Os corpos do granito Azul Sucuru são, na realidade, segmentos de diques outrora mais contínuos, que se apresentam em geral com expressão topográfica bem visível nas fotografias aéreas e no campo, marcados pelo empilhamento de matacões (figura 2) com formas e tamanhos variados. Estão direcionados para N-S, com variações para NNE, NNW e NW, mergulhos tendentes à verticalidade e encaixados em litologias dos complexos Sertânia e Sumé, especialmente em gnaisses leucocráticos com anfibolitos associados.

Esta rocha foi pesquisada e testada no mercado, com a denominação comercial de Granito Azul Sucuru. Apresenta como elemento diferenciador cristais alongados de quartzo associados com cordierita, proporcionando na chapa polida um arranjo cristalográfico de rara beleza estética. Estas estruturas geológicas possuem comprimento máximo de 1.000 metros e larguras médias, da ordem de 15-20 metros.

2.2. DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

A difração de raios X (DRX) é uma técnica indicada para determinar as fases cristalinas presentes em diversos materiais, dentre eles os minerais. Isso acontece porque os átomos se ordenam em planos cristalinos separados entre si por distâncias da mesma ordem de grandeza dos comprimentos da onda dos raios X. Quando se incide um feixe de raios X em um cristal, o mesmo interage com os átomos presentes, gerando o fenômeno de difração de raios X. Ela ocorre segundo a Lei de Bragg, a qual estabelece a relação entre os planos que a originaram (característicos para cada fase cristalina).

Essa técnica representa o fenômeno de interação entre o feixe de raios-X incidente e os elétrons dos átomos componentes de um material, relacionado ao espalhamento coerente. A técnica consiste na incidência da radiação em uma amostra e na detecção dos fótons difratados, que constituem o feixe difratado. Em um material onde os átomos estejam arranjados periodicamente no espaço, característica das estruturas cristalinas, o fenômeno da difração de raios-X ocorre nas direções de espalhamento que satisfazem a Lei de Bragg (equação 1). A teoria da difração é detalhada por Cullity (1967).

$$n \lambda = 2 d \sin \theta$$

3.0. METODOLOGIA

3.1. DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

Esse estudo foi realizado na análise do pó do material britado do Granito Azul Sucuru. Os ensaios de difração de raios-X foram realizados Laboratório de Tecnologia Mineral da UFPE - LTM. Buscou-se ao longo dessa pesquisa obter difratogramas usando o equipamento Bruker D2 Phaser

e detector Bruker-Lynxeye (figura 3), operando com 300 W (30 kV e 10 mA), irradiação Cu-K α_1 ($\lambda=1,5406 \text{ \AA}$). $2\theta = 4-80^\circ$; fenda primária: 0,4 mm; passo do goniômetro: 0,0202°/s; tempo de contagem por passo: 1 s. As amostras foram preparadas por back-loading. A partir da DRX, há a possibilidade de identificação dos minerais principais (ao passo que a microscopia não é, algumas vezes capaz de identificar alguns minerais, mas sim seus grupos), sendo esse um método que pode ser considerados complementar para a caracterização mineralógica de rochas.

4.0 DISCUSSÃO E RESULTADOS

4.1. DIFRAÇÃO DE RAIOS X

A partir dos resultados dos difratogramas obtidos pela DRX, as análises indicam a existência da cordierita nesse material, a qual potencializa a cor azul da rocha estudada, além dos minerais presentes no pó da brita desse material o que indica aplicações na indústria da construção civil e como rocha ornamental e de revestimento. Assim, comprovam-se os resultados obtidos na análise de petrografia microscópica feita do material amostrado. O estudo dos difratogramas é, no máximo, semiquantitativo, mas confirma o elevado teor de quartzo (25%) identificado extensivamente nos estudos petrográficos, inclusive microscópicos. Trata-se de mineral essencial de dureza bastante elevada (dureza 7,0 na Escala de Mohs) mais abundante na Crosta Terrestre, localizadamente associado com cordierita (5%), mineral do grupo dos ciclosilicatos, de dureza elevada, mas de frequência mais rara, compondo o grupo dos minerais acessórios da rocha. Assim, esta consorciação de minerais sugere que este é um tipo de rocha que pode ser aplicada em revestimentos internos, externos, áreas secas e úmidas e também em pisos de grande intensidade de pisoteio. Os difratogramas seguintes mostrados nas figuras 4 a 10 ilustram as características difratométricas dos minerais identificados:

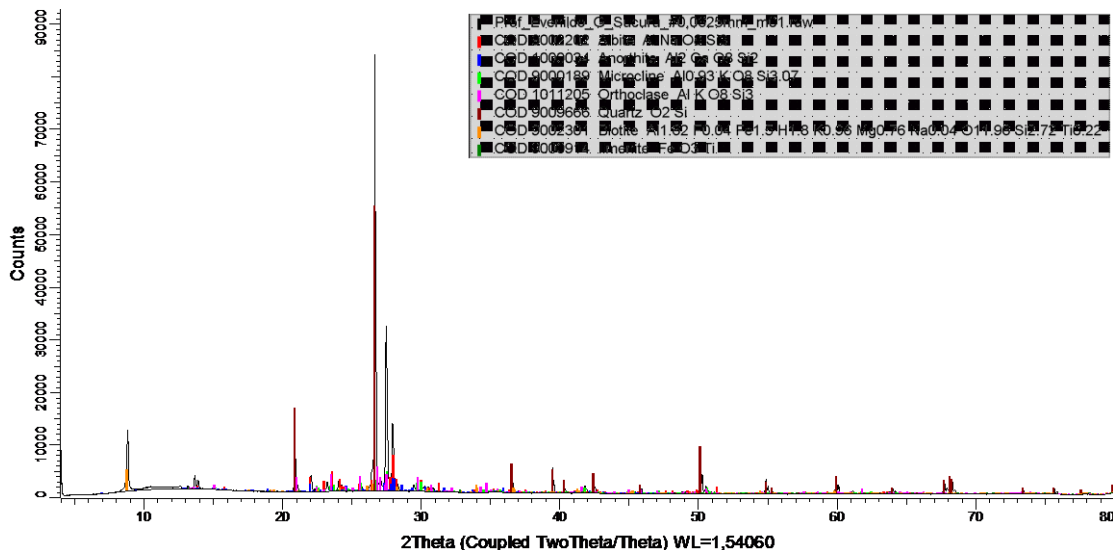


Figura 1 – Material retido na peneira #0,0625mm.

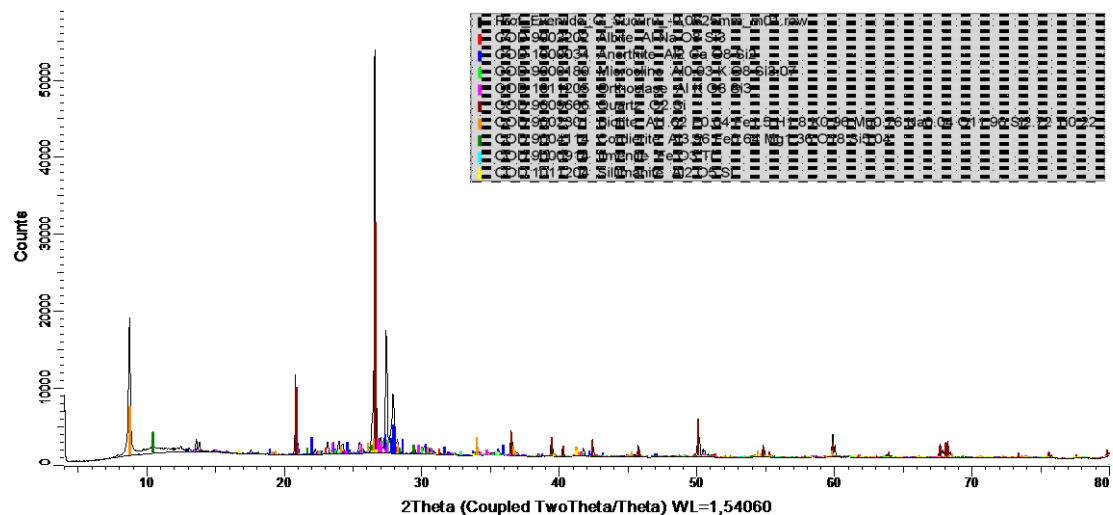


Figura 2 – Material passante na peneira #0,0625mm.

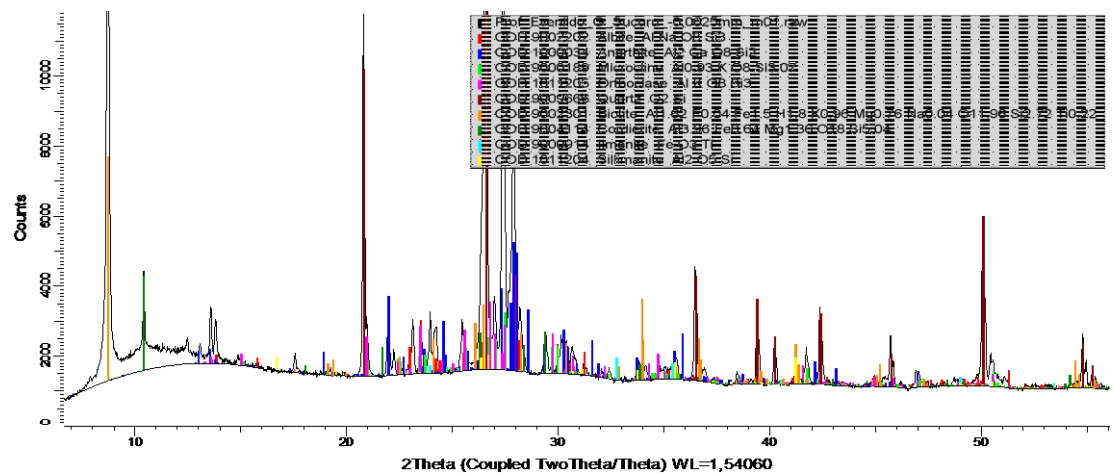


Figura 3 – Material retido na peneira #0,25mm.

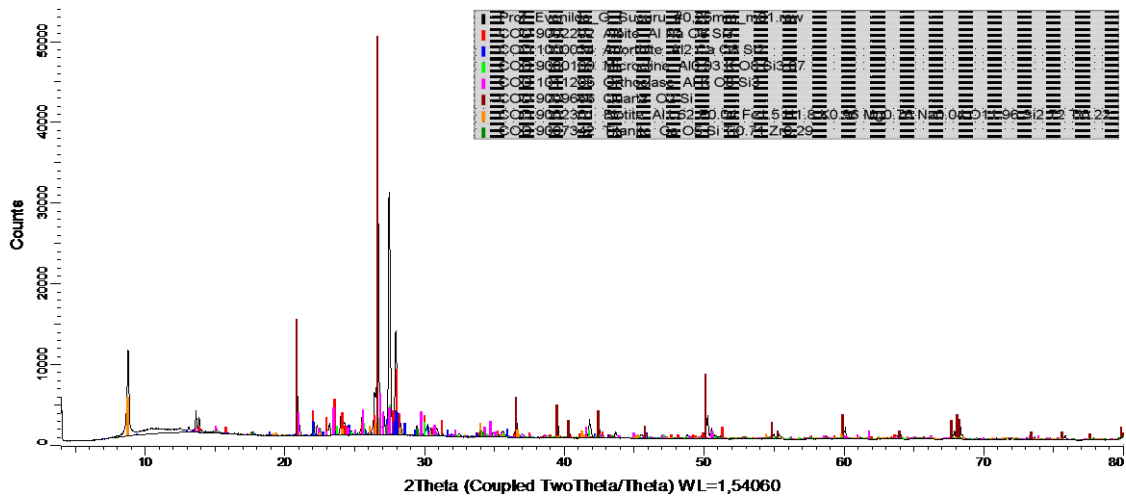


Figura 4 – Material retido na peneira #0,25mm.

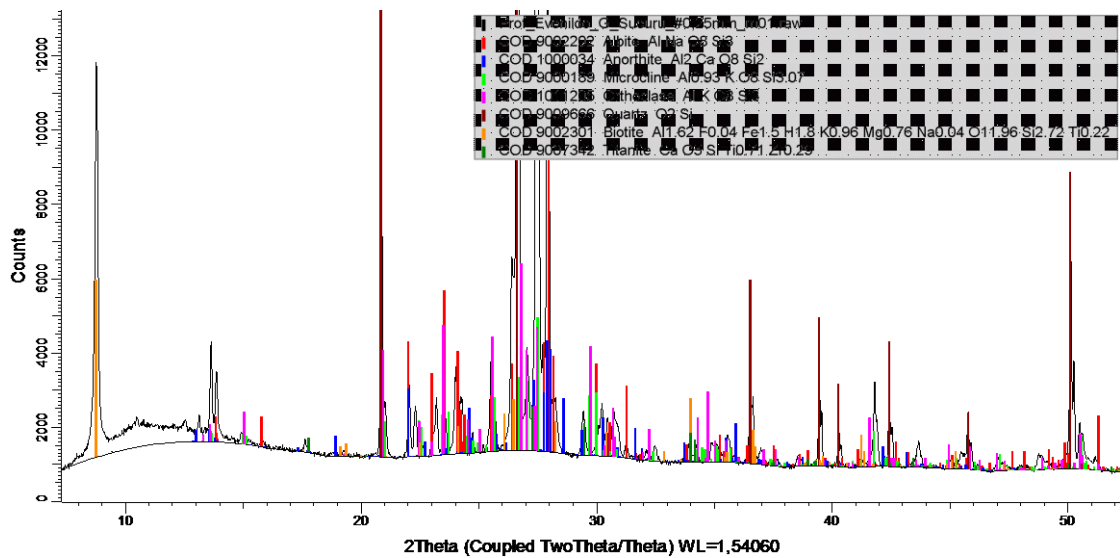
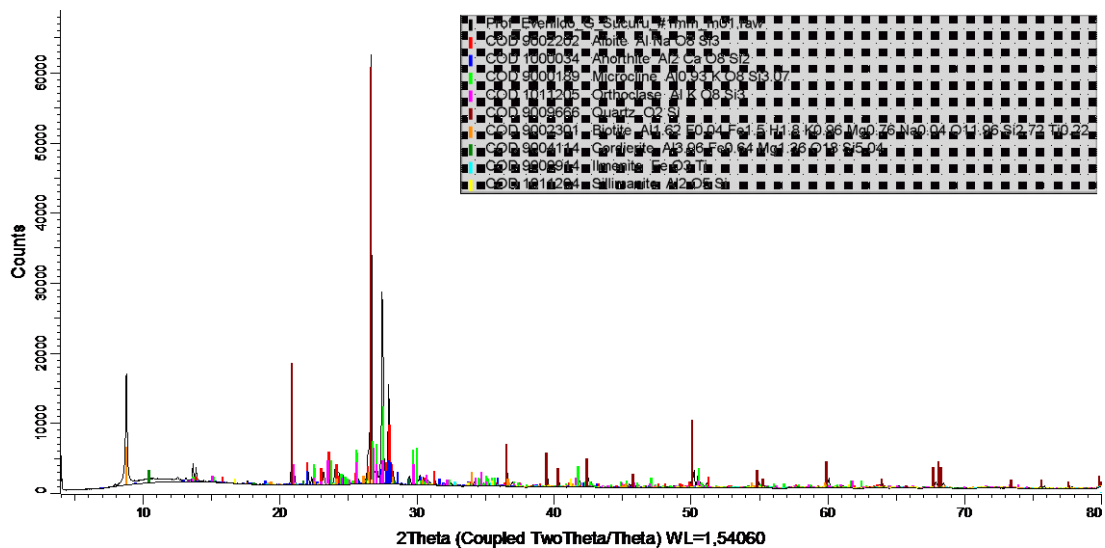


Figura 5 – Material retido na peneira #1,0mm.



externo, pois, o problema de oxidação é nulo por não conterem ferro. Constata-se ainda a presença de ilmenita, óxido de ferro e titânio.

Portanto, a partir da DRX observa-se que o “Granito Azul Sucuru” apresenta a cor azulada nos cristais de quartzo devido a presença da cordierita como mineral acessório, a qual não apresenta clivagem, logo sua fragmentação é alta, fato que a determina o seu aparecimento em frações granulométricas mais finas; já o quartzo por ser mais abundante aparece em todos os difratogramas.

Assim, os difratogramas acima, são distintos, não só quanto à cristalinidade, mas, sobretudo quanto às composições das fases, onde são observadas impurezas, provavelmente pela associação com outros minerais, como as micas, cordierita, ilmanita, silimanita e titanita.

5.0. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises por difração de raios X apresentam como resultados os minerais presentes na rocha, os quais apresentam características intrínsecas do material, além de mostrar a presença de materiais de alteração do litotipo rochoso. Por meio da análise por difração de raios X, têm-se informações suficientes para determinar a otimização de uma metodologia para análise petrográfica das características de granitos e possíveis aplicações dos mesmos seja na área ornamental e/ou em outras aplicações na construção civil como agregados na forma de areias e britas. A junção dessas duas técnicas, análise petrográfica e análise por difração de X, possibilita um estudo mais detalhado da matéria-prima a ser usada na produção ornamental e na construção civil.

6.0. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS. Rochas ornamentais no século XXI. Banco de dados. Disponível na Internet. <http://www.abirochas.com.br/br/index.html> . Acesso em 25 de janeiro de 2016.

CPRM, Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. 1998.

CULLITY, B. D. Elements of X-ray Diffraction, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1967. 514p

CONTRIBUIÇÃO DA MINERALOGIA À DUREZA KNOOP E AO DESGASTE ABRASIVO EM ALGUMAS ROCHAS SILICÁTICAS DE REVESTIMENTO

*Eduardo Brandau Quitete*¹, *Fabiano Cabañas Navarro*², *Maria Heloisa Barros de Oliveira Frascá*³

¹ Geólogo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT

² Geólogo, Universidade Federal de Alfenas – Unifal-MG

³ Geóloga, MHB Serviços Geológicos Ltda.

quitete@ipt.br

RESUMO

A dureza Knoop é uma propriedade de rochas determinada pela microimpressão de uma ponta de diamante na superfície em teste de uma rocha, mais especificamente definida como a área produzida, de formato losangular, dividida pela carga utilizada para esta impressão. Visto que a dureza de um material é função de diversos parâmetros que constituem um universo multivariado e interdependente, realizou-se neste trabalho análise estatística utilizando o método de regressão linear múltipla, entre os dados de dureza Knoop e os de desgaste abrasivo, comumente obtidos no Brasil pelo método Amsler, que utiliza areia quartzosa e cujo resultado é medido como a redução média na espessura de dois corpos de prova após 1.000 m de percurso abrasivo sob carga de 66 N. Para tanto, foram utilizadas amostras de 16 rochas silicáticas (contendo entre 35% a 0% de quartzo, incluindo granitos, monzonitos, gnaisses e outros), comercialmente designadas como granitos. Todas as rochas utilizadas estão caracterizadas no Catálogo das Rochas Ornamentais e de Revestimento do Estado de São Paulo (Frascá, 2000). Os resultados mostraram que a dureza Knoop e o desgaste Amsler fornecem resultados tendendo à proporcionalidade inversa, ou seja, quanto maior a dureza menor o desgaste, como esperado, e a melhor correlação obtida por regressão linear múltipla foi 0,56 (R^2). A dureza Knoop, particularmente $HK_{média}$, tende a números maiores quanto maior o teor de quartzo, mas a correlação é baixa ($R^2 = 0,35$). Quanto à granulometria do quartzo na rocha, foi observada uma tendência de aumento da dureza, principalmente o parâmetro HK_{25} , com o aumento do tamanho mínimo dos grãos de quartzo ($R^2 = 0,37$). Na regressão linear múltipla, o desgaste Amsler pode ser previsto com correlação ligeiramente melhor ($R^2 = 0,59$) do que a dureza Knoop quando consideradas as quantidades de quartzo, plagioclásio e feldspato potássico.

PALAVRAS-CHAVE: dureza Knoop, desgaste abrasivo, mineralogia, granitos.

ABSTRACT

The Knoop hardness is one of the micro indentation hardness tests, where the hardness in a surface is determined as the ratio between the area of indentation produced by a diamond indenter and the applied load. Another hardness test commonly carried out in Brazil is the Amsler abrasive wear test, which utilizes quartz sand and the wear is measured, in millimeters, as the average thickness reduction after a 1.000-meter path. Since the hardness of a material is function of several parameters in a multivariate and interdependent universe, this study applied statistical analysis following the multiple regression method. Sixteen aluminous-silicatic rocks (containing 35 % to 0 % of quartz, including granites, monzonites, gneiss and others) commercially designated as granites from São Paulo State, Brazil (Frasca, 2000), were selected for this study. The results indicated that the Knoop hardness and the Amsler abrasive wear tend towards an inverse proportionality, or as higher is the hardness, lower is the wear. In the studied samples the best correlation between the parameters of Knoop hardness and Amsler abrasive wear was 0,56 (R^2), obtained by multiple linear regression. The Knoop hardness, particularly the average value, tends to higher values as the quartz content increases, but the correlation is poor ($R^2 = 0,35$). Relatively to the quartz grain-size, it was observed a tendency to the increase of hardness, especially HK_{25} , with the increase in the minimum size of the quartz grains ($R^2 = 0,37$). Considering only the quartz, plagioclase and K-feldspar contents, in a multiple linear regression, the Amsler abrasive wear can be predicted with a slightly better correlation ($R^2 = 0,59$) than Knoop hardness.

KEYWORDS: Knoop hardness, abrasive wear, mineralogy, granites.

1. INTRODUÇÃO

Knoop é um ensaio de determinação de dureza em rochas, que consiste na micro impressão com ponta de diamante na superfície da rocha em avaliação, em que essa é determinada como a área, produzida dividida pela carga utilizada nesta impressão. Assim, quanto maior a área da impressão produzida, menor a dureza. A ponta Knoop produz uma impressão em forma de losango com razão

largura:comprimento igual a 1:7,1 (Figura 1), sendo que a área é calculada a partir da diagonal maior.

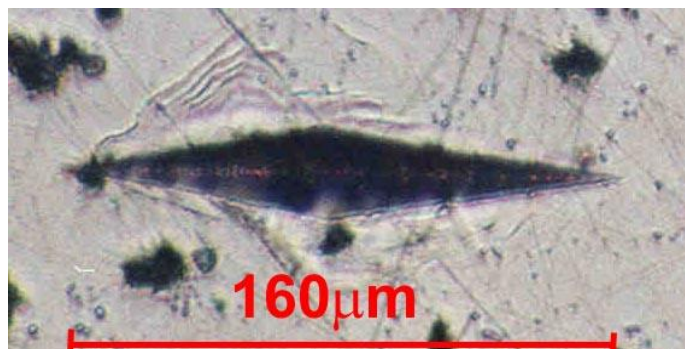


Figura 1 – Impressão da ponta Knoop em cobre.

O uso da ponta no formato de pirâmide alongada foi sugerido em 1939 e posteriormente foi verificado seu desempenho mais adequado em minerais não metálicos quando comparada com a dureza com ponta Vickers, de emprego mais difundido (Quitete, 2002).

O uso da dureza Knoop, como teste rotineiro para avaliação de rochas de revestimento, foi proposto por Frisa Morandini e Mancini (1982) que utilizaram 20 impressões por amostra, com carga de 1,96 N (200 gf) e introduziram a confecção de um “diagrama de distribuição de dureza”, que exprime os valores em ordem crescente. Dessa distribuição registraram-se os valores relativos aos primeiros 25%, 50% e 75% da curva (quartil inferior, mediana e quartil superior), designados “frequências cumulativas”: HK_{25} , HK_{50} e HK_{75} . Também, sugeriram que se fosse determinado um “coeficiente de heterogeneidade”, definido como HK_{75}/HK_{25} . Não adotaram o desvio padrão pois o diagrama de dureza não segue uma distribuição normal, uma vez que depende da combinação de populações (fases minerais) independentes entre si em relação à dureza. Posteriormente, o método foi adotado pelo Comitê Europeu de Normalização (CEN) na norma EN 14205– “*Natural Stone Test Methods – Determination of Knoop Hardness*” (CEN, 2003).

Como a dureza Knoop é um ensaio adotado por vários países e o ensaio de desgaste abrasivo Amsler (ABNT, 2012) é corriqueiramente realizado no Brasil, em rochas de revestimento (porém cujos resultados não são correlacionáveis com outros ensaios abrasivos adotados pela ASTM (*American Society for Testing and Materials*) e CEN), Quitete e Kahn (2002) procuraram determinar a correlação matemática entre os dois ensaios e obtiveram coeficiente de correlação $R^2 = 0,49$ para a relação entre desgaste abrasivo e HK_{25} . Quitete e Navarro (2003), trabalhando com os mesmos dados, porém utilizando análise de regressão linear múltipla, obtiveram coeficientes de correlação

maiores: ($R^2 = 0,67$) considerando todos os parâmetros de dureza Knoop (Equação 1) ou ($R^2 = 0,56$) usando apenas alguns parâmetros de dureza Knoop (Equação 2).

$$\text{Desgaste} = -0,066 - 0,027HK_{25} + 0,099HK_{50} - 0,251HK_{75} + 0,730 HK_{75}/HK_{25} + 0,164HK_{\text{média}} \quad (1)$$

$$\text{Desgaste} = 1,05 - 0,215HK_{25} + 0,143HK_{50} - 0,0233HK_{75} \quad (2)$$

Conforme indicado por Quitete e Navarro (2003), a Equação 1 evidencia a importância do parâmetro HK_{75}/HK_{25} , que expressa matematicamente a variabilidade entre os minerais de menor dureza e os de maior dureza, enquanto que a Equação 2, a maior influência do HK_{25} , como já demonstrado por Frisa Morandini e Mancini (1982) e Quitete e Kahn (2002) como o parâmetro individual mais correlacionável ao desgaste abrasivo.

O objetivo do presente trabalho é apresentar relações matemáticas entre o desgaste abrasivo Amsler, os parâmetros de dureza Knoop e algumas características petrográficas relevantes para a dureza em rochas, em especial a porcentagem e o tamanho médio dos minerais formadores de rocha.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

À exceção da regressão linear múltipla e da granulometria do quartzo, detalhadas mais adiante, foram utilizados as mesmas amostras e os mesmos métodos de Quitete e Kahn (2002).

2.1. Amostras

Foram utilizadas amostras das 16 rochas silicáticas (contendo entre 35 % e 0 % de quartzo, incluindo granitos, monzonitos, gnaisses e outros), comercialmente designadas como granitos (ABNT, 2013) cujos resultados de caracterização estão apresentados no Catálogo das Rochas Ornamentais e de Revestimento do Estado de São Paulo (Frasca, 2000).

2.2. Desgaste Abrasivo Amsler

O ensaio de desgaste abrasivo Amsler foi realizado em conformidade com a norma NBR 12042 (ABNT, 2012), que considera dois corpos de prova para cada amostra, ambos cortados com serra diamantada nas dimensões 70 mm x 70 mm x 30 mm. As laterais foram medidas com paquímetro e a espessura com relógio comparador, em quatro pontos, nas diagonais, a 30 mm dos vértices.

Após as medidas, os dois corpos de prova foram colocados na máquina marca Amsler, modelo A 154 do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT (Figura 2).

Na máquina de ensaio os corpos de prova foram dispostos diametralmente opostos sobre um disco de ferro fundido com 2 m de perímetro e submetidos a uma carga individual de 66 N. O disco é posto a girar e recebe continuamente areia quartzosa com granulometria entre 0,6 mm e 0,3 mm, enquanto que os corpos de prova giram em torno de seu próprio eixo, perpendicular à superfície de contato.

Após o equivalente a 500 m e 1.000 m de percurso, os corpos de prova foram limpos e sua espessura foi novamente medida com o relógio comparador. A diferença entre o valor inicial e o final consiste no valor de desgaste abrasivo Amsler utilizado neste trabalho.

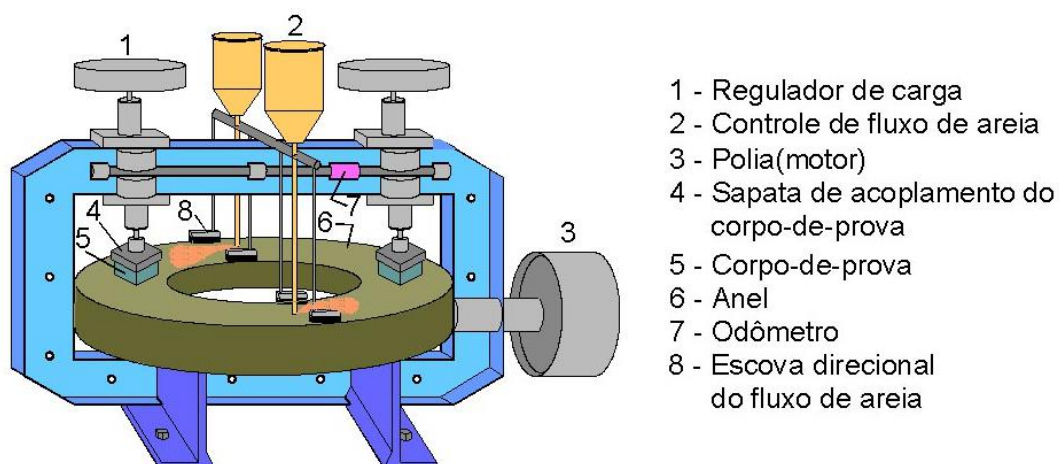


Figura 2 – Esquema da máquina Amsler para determinação do desgaste abrasivo.

2.3. Dureza Knoop

A face submetida ao ensaio de desgaste, de cada um dos corpos de prova ensaiados, foi polida com politriz manual, utilizando-se discos abrasivos em granulações decrescentes (250 μ m, 105 μ m,

45 μm , 25, 12 μm , 6 μm e 4 μm). Com isso, a dureza Knoop foi determinada praticamente na mesma superfície submetida ao desgaste.

A dureza Knoop foi determinada em 40 impressões, sendo 10 medidas em cada um dos quatro eixos dispostos a 45° entre si (Figura 3). As impressões foram feitas com carga de 1,96 N (200 gf) e medidas em um aparelho modelo Miniload 2, marca Leitz.

O comprimento da diagonal da impressão foi medido imediatamente após cada impressão, utilizando-se a objetiva de 50X (aumento total de 500X) com o auxílio da escala vernier presente no sistema da ocular do aparelho.

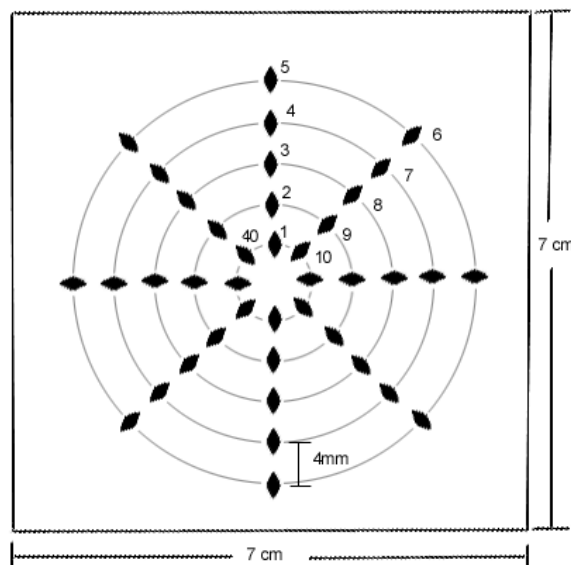


Figura 3 – Esquema das 40 impressões realizadas em cada corpo de prova. Os números indicam a ordem em que foram feitas.

Adotou-se o método desenvolvido por Frisa Morandini e Mancini (1982) para a expressão da dureza Knoop por meio dos valores intermediários obtidos em diagrama de valores individuais em ordem crescente: HK_{25} (correspondente ao valor de 25% do diagrama), HK_{50} (correspondente ao valor da metade do diagrama) e HK_{75} (correspondente a 75% do diagrama). Foi também calculada a dureza Knoop média das 40 medidas ($HK_{\text{média}}$) por ser um parâmetro mais intuitivo, mesmo não sendo estatisticamente justificado.

2.4. Análise petrográfica

A análise petrográfica foi compreendeu a descrição macroscópica de placas serradas com disco diamantado e após ensaio para coloração seletiva de feldspatos, segundo metodologia proposta

por Moraes e Rodrigues (1978). Também foi feita a análise petrográfica microscópica, de seções delgadas das amostras em estudo em microscópio ótico de luz transmitida.

Na descrição microscópica foram ressaltadas as feições relevantes ao estudo, como textura, composição mineralógica, e granulação, estado microfissural e alteração e dos minerais constituintes.

A quantidade dos minerais foi estimada em área levando-se em conta tanto a seção delgada quando a placa submetida à coloração seletiva.

2.5. Regressão linear múltipla

O tratamento estatístico dos dados considerou a hierarquização das variáveis de dureza Knoop e petrográficas que respondem pelos valores de desgaste Amsler. Para tanto, os valores de desgaste foram assumidos como variáveis dependentes dos parâmetros dureza Knoop e/ou petrográficos, as quais por sua vez, foram admitidas como independentes.

A análise por regressão múltipla possibilita mensurar, e portanto avaliar, a variabilidade (dispersão estatística) de uma variável dependente que pode ser estatisticamente explicada por uma variável independente (Davis, 1986). Isto significa afirmar que o método possibilita medir a variabilidade do resultado de desgaste Amsler considerando as variáveis petrográficas e relativas à dureza Knoop. Em caso de alta correlação entre essas variáveis, pode-se obter uma equação matemática que represente influências das variáveis independentes em relação à dependente.

O tratamento estatístico dos dados foi realizado com a análise de regressão múltipla, utilizando o algoritmo *backward stepwise* do programa computacional Statistica versão 7.0, que permitiu hierarquizar as variáveis de HK, e reconhecer quais as mais importantes para explicar o desgaste abrasivo. O programa Minitab (3.0.2) permitiu a obtenção de equações matemáticas que descrevem as relações de desgaste abrasivo em função dos parâmetros de HK considerados.

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos nas análises petrográficas e nos ensaios de dureza Knoop e desgaste Amsler estão apresentados nas Tabelas 1 e 2. Informações adicionais sobre as amostras utilizadas podem ser consultadas em Frascá (2000), uma vez que se utilizou a mesma designação das amostras. A

Tabela 3 apresenta as melhores equações de correlação obtidas neste trabalho e as de outros trabalhos, para comparação.

Tabela 1. Dados das amostras estudadas: Classificação petrográfica e porcentagem de minerais conforme Frascá (2000) e granulação do quartzo obtida neste trabalho.

Amostra	Classificação petrográfica	Minerais essenciais (% em volume)			Granulação do quartzo (mm)		
		quartzo	feldspato potássico	plagioclásio	mínima	máxima	média
01	Biotita monzogranito porfirítico	30	25	30	0,2	2,0	1,1
02	Biotita monzogranito	30	35	25	1,5	6,0	3,8
06	Gabronorito	tr	-	60	-	-	-
16	Monzogranito	35	35	20	1,0	5,5	3,2
17	Monzogranito	30	35	30	0,4	2,6	1,5
18	Biotita-hornblenda quartzo monzonito	5	15	35	0,02	0,6	0,31
19	Monzogranito porfirítico	30	35-40	25-30	0,2	1,2	0,7
20	Biotita granodiorito gnáissico	25	15	40	0,09	9,0	4,5
21	Biotita quartzo monzonito	5-10	25	35	0,1	0,4	0,25
22	Biotita monzogranito gnáissico	25-30	30	30	0,1	6,0	3,0
24	Biotita monzogranito	30	25	30	0,2	2,6	1,4
28	Nefelina sienito	-	75-80	-	-	-	-
30	Biotita gnaiss monzogranítico	25	35	30	0,1	2,0	1,0
31	Biotita sienogranito	25-30	35-40	15	0,07	6,0	3,0
32	Hiperstênio monzonito gnáissico	tr	35-40	35	-	-	-
33	Monzogranito	25	45	25	0,5	6,0	3,2

Tabela 2. Resultados de desgaste abrasivo Amsler e dureza Knoop (Quitete e Kahn, 2002).

Amostra	Desgaste abrasivo (mm/ 1.000m)	HK ₂₅ (GPa)	HK ₅₀ (GPa)	HK ₇₅ (GPa)	HK _{médio} (GPa)	HK ₇₅ HK ₂₅
01	0,76	5,6	6,9	8,2	7,1	1,45
02	0,60	6,3	7,8	8,8	7,9	1,41
06	0,76	6,2	7,2	7,8	7,0	1,25
16	0,43	6,5	7,4	8,4	7,4	1,30
17	0,57	5,9	6,8	7,8	7,0	1,33
18	1,05	2,7	4,5	6,5	4,4	2,27
19	0,51	5,5	6,4	9,4	7,4	1,72
20	0,62	6,0	7,0	8,0	7,0	1,32
21	0,85	4,3	6,2	7,3	5,7	1,69
22	0,52	5,0	6,4	7,2	6,3	1,43
24	0,67	5,5	7,0	8,2	7,1	1,51
28	0,65	4,5	5,8	6,7	5,6	1,47
30	0,80	4,4	5,2	6,2	5,7	1,42
31	0,70	5,6	7,0	8,6	7,4	1,54
32	0,62	5,3	6,6	7,3	6,4	1,36
33	0,54	5,0	6,0	7,4	5,7	1,49

Tabela 3. Principais equações obtidas.

Equações	R ²	Comentários
$DA = 1,65 - 0,006Qz - 0,013Fds - 0,038Dmédioqz$	0,66	Desgaste em função do tamanho médio do quartzo e da mineralogia
$DA = 1,68 - 0,0092Qz - 0,0139Plag - 0,013Fk$	0,59	Desgaste em função da mineralogia
$DA = 1,05 - 0,215HK_{25} + 0,143HK_{50} - 0,0233HK_{75}$	0,56	Quitete e Navarro (2003)
$HK_{média} = 5,778 + 0,040Qz$	0,35	Quitete (2002)
$HK_{25} = 5,243 + 0,787Dminqz$	0,37	Quitete (2002)

4. CONCLUSÃO

Os resultados evidenciaram que a dureza Knoop e o desgaste Amsler tendem à proporcionalidade inversa, ou seja, quanto maior a dureza menor o desgaste Amsler.

Assumindo o desgaste Amsler como variável dependente da mineralogia da rocha (tipos e quantidade dos minerais essenciais), que nas rochas estudadas são o quartzo, plagioclásio e feldspato potássico, observou-se que estes explicam 76,8 % dos valores de desgaste ($R^2 = 0,59$).

Ao considerar variáveis texturais como o tamanho médio dos cristais associado às quantidades minerais pode-se alcançar 81 % ($R^2 = 0,66$) de correlação com o desgaste.

É notável também a relação do desgaste Amsler com o conteúdo de minerais máficos visto que os maiores desgastes foram obtidos para amostras ricas em biotita, hornblenda e outros.

Conclui-se, portanto que embora claramente dependentes da mineralogia, a previsão matemática do desgaste Amsler e dureza Knoop com base na mineralogia necessita, além dos parâmetros aqui apresentados, da inclusão de outras variáveis petrográficas nos modelos, como o conteúdo de minerais máficos, o grau de fissuramento e estado de alteração dos minerais, a serem objeto de trabalhos futuros.

NOMENCLATURA

DA = Desgaste abrasivo Amsler (NBR 12042), em mm/1.000 m

Dminqz = diâmetro mínimo do quartzo, em mm

Dmédioqz = diâmetro médio do quartzo, em mm

Fk = teor de feldspato potássico, em %

Plag = teor de plagioclásio, em %

Qz = teor de quartzo, em %

Fds = teor de feldspatos, em %

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Materiais inorgânicos – Determinação do desgaste por abrasão** – NBR 12042. Rio de Janeiro. 2012. 9 p.

DAVIS, J.C. 1986. **Statistics and data analysis in geology**. 2th ed. John Wiley & Sons, Inc. New York. 646p.

FRASCÁ, M.H.B. de O. (Coord.). **Rochas Ornamentais e de Revestimento do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 2000. (Publicação IPT, 2651) CD-ROM.

FRISA MORANDINI, A.; MANCINI, R. Applications of micro-hardness tests to the technical evaluation of dimension stones. In: IAEG Congress, 4. New Delhi. **Proceedings...** [S.l.]: IAEG, 1982. v. 6 .p. 21-31.

MORAES, M.C. & RODRIGUES, E.P. Exemplo de aplicação de coloração seletiva de feldspatos potássicos e cálcicos, como técnica auxiliar no estudo de rochas. **Cerâmica**, v.24, n.97, p. 32-35, 1978.

QUITETE, E.B. **Dureza Knoop para em rochas revestimentos: metodologia e correlação com desgaste abrasivo**. São Paulo. 70p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2002.

QUITETE E. B.; KAHN, H. Dureza Knoop em rochas para revestimento: correlação com desgaste abrasivo. *In*: Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 3. Recife. **Anais...**Recife: 2002.

QUITETE E. B.; NAVARRO, F. C. Correlação entre dureza Knoop e desgaste abrasivo Amsler em algumas rochas ornamentais silicáticas através de regressão múltipla. *In*: Simpósio de Geologia do Sudeste, 7. São Pedro. **Boletim de resumos...** [S.l.]: SBG, 2003. p. 200.

QUANTIFICAÇÃO MINERALÓGICA MODAL MACROSCÓPICA, EM ROCHAS ORNAMENTAIS SUBMETIDAS À COLORAÇÃO SELETIVA POR ATAQUE QUÍMICO, ATRAVÉS DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA DE IMAGENS.

Thiago M. Bolonini¹, Lara Cinthia A. S. Bolonini², Antônio M. Godoy³, Leonardo Luiz L. da Silveira⁴

^{1,4} Centro de Tecnologia Mineral CETEM/MCTI, Núcleo Regional do Espírito Santo NR-ES, Rodovia Cachoeiro x Alegre, Km 5, s/nº, Bairro Morro Grande, CEP 29.300-970, Cachoeiro de Itapemirim – ES (Brasil).

tbolonini@cetem.gov.br; www.cetem.gov.br

² Universidade de Vila Velha UVV, Curso de Geologia, Av. Comissário José Dantas de Melo, nº 21, Bairro Boa Vista, CEP 29.102-920, Vila Velha – ES (Brasil).

lara_saar@yahoo.com.br

³ Departamento de petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista UNESP, Av. 24-A, nº 1515, C. P. 178, CEP 13506-900, Rio Claro, São Paulo (Brasil).

mgodoy@rc.gov.br

RESUMO

A análise petrográfica de rochas ornamentais ígneas é feita através de observações macroscópicas e microscópicas e tem como funções identificar os minerais que as constituem e classificá-las. Para facilitar a identificação mineral, é comum utilizar o método da coloração seletiva. Entretanto, é preciso conhecer também as quantidades nas quais esses minerais aparecem nas rochas. Para auxiliar nesta tarefa são utilizadas neste trabalho imagens, obtidas a partir de rochas submetidas ao teste de coloração seletiva, e a técnica da classificação supervisionada de imagens. As rochas ornamentais estudadas são extraídas em Barra de São Francisco- ES, Brasil e conhecidas comercialmente como *Butterfly Beige*, *Butterfly Green* e *Butterfly Gold*. As análises petrográficas macroscópicas e microscópicas e as classificações das imagens mostraram que as rochas são compostas por quartzo (*Beige* 11%, *Gold* 15% e *Green* 13%), microclínio (*Beige* 62%, *Gold* 58% e *Green* 58%), plagioclásio (*Beige* 22%, *Gold* 20% e *Green* 20%), granada (*Beige* 2%, *Gold* 4% e *Green* 6%), biotita e hiperstênio (*Beige* 3%, *Gold* 3% e *Green* 3%) e apresentam grande similaridade composicional, textural e estrutural sendo classificadas como quartzo-sienitos com hiperstênio. Uma vez que os minerais são identificados na análise microscópica e tingidos com o uso da coloração seletiva, a quantificação é assegurada pela aplicação da classificação supervisionada.

Logo, conclui-se que o método, baseado na análise de imagens, é eficaz para a quantificação mineralógica modal de rochas ornamentais ígneas quartzo-feldspáticas.

PALAVRAS-CHAVE: petrografia, rochas ornamentais, coloração seletiva, classificação supervisionada.

ABSTRACT

The petrographic analysis of igneous dimension stones is done through macroscopic and microscopic observations and its function is to identify the minerals that constitute them and classify them. To facilitate the mineral identification, it is common to use the staining method. However, it is also necessary to know the quantities in which these minerals appear in the rocks. To assist in this task, images obtained from rocks subjected to the feldspar staining method, and the technique of supervised image classification are used in this paper. The studied dimension stones are extracted in Barra de São Francisco ES, Brazil and are commercially known as Butterfly Beige, Green Butterfly and Butterfly Gold. The macroscopic and microscopic petrographic analysis and the supervised image classification showed that the rocks are composed of quartz (Beige 11% Gold 15%, Green 13%), microcline (Beige 62% Gold 58% and Green 58%), plagioclase (Beige 22% Gold 20%, Green 20%), garnet (Beige 2% Gold 4% and Green 6%), biotite and hypersthene (Beige 3% Gold 3% and Green 3%) and present great compositional, textural and structural similarity, being classified as quartz-syenite with hypersthene. Once the minerals are identified by microscopic examination and stained in the feldspar staining method, the quantification is achieved by the application of supervised classification. Therefore, it is concluded that the method based on image analysis is effective for modal mineralogical quantification of quartz-feldspar igneous dimension stones.

KEYWORDS: petrography, dimension stones, feldspar staining method, supervised classification.

1. INTRODUÇÃO

A análise petrográfica de rochas ornamentais ígneas é feita através de observações macroscópicas e microscópicas e tem como funções identificar os minerais que as constituem e classificá-las. Para facilitar a identificação mineral é comum utilizar-se da técnica da coloração

seletiva desenvolvida por Moraes e Rodrigues (1978) que “tinge” feldspatos alcalinos por imersões em soluções de ácido fluorídrico (HF) e cobaltonitrito de sódio $\text{Na}_3\text{Co}(\text{NO}_2)_6$ fazendo com que apresentem a coloração amarela diferenciando-o dos demais. Entretanto, para classificar tais rochas é preciso definir as quantidades nas quais esses minerais ocorrem. Normalmente essa quantificação é feita por estimativa visual ou por contagem modal com uma matriz milimetrada métodos que, dependendo da acurácia do especialista, podem não fornecer a precisão necessária à classificação.

Nas rochas ornamentais a análise de imagens vem sendo utilizada para avaliar diversos aspectos relacionados à quantificação, qualificação e manutenção das suas propriedades estéticas. De forma pioneira, Aires-Barros *et al.* (1991a) utilizaram a morfologia matemática binária para definição de um índice de alterabilidade para rochas ornamentais. Aires-Barros *et al.* (1991b) aplicaram um perfilômetro de linhas para analisar a alteração e a alterabilidade de rochas ornamentais carbonatadas. Motoki *et al.* (1999) e Campello (2003) utilizaram a análise de imagem como prerrogativa para, além de analisar formas de minerais e suas relações com resultados de ensaios mecânicos, a criação de uma nova nomenclatura de rochas ornamentais, baseada na identificação e quantificação de suas cores extraídas de um dado matricial (imagem), com o auxílio de um programa de computador. Torquato *et al.* (2008) afirmam que a análise de imagem se constitui numa técnica que permite estabelecer correlações entre parâmetros morfológicos e outras propriedades (químicas, físicas, mecânicas, geológicas, biológicas, etc.) dos objetos ou materiais estudados possuindo diversas aplicações no âmbito das rochas ornamentais como o mapeamento de eflorescências (VÁZQUEZ *et al.*, 2011), o controle de patologias (MOURA *et al.*, 2011), a classificação textural estatística (UMURANI *et al.*, 2008), a demonstração de alterações em plataforma *web* (STEFANI, 2013) entre outras.

A disciplina que trata da análise de imagem é denominada Processamento Digital de Imagem (PDI) e seus objetos de estudo, as imagens digitais, são representadas por matrizes do tipo $[m,n]$, podendo ser entendidas como o resultado do processo de amostragem de uma dada imagem (contínua) a (x,y) por digitalização a partir de um espaço contínuo bidimensional (CAMPELLO, 2006). O efeito desse processo pode ser visualizado na figura 1 onde a interseção entre uma linha e uma coluna é denominada *pixel* (*picture element*) e pode assumir valores relacionáveis a variáveis como o tempo (t), profundidade (z), cor (λ) etc. Para o caso de imagens em tons de cinza, por exemplo, o pixel pode assumir apenas valores inteiros que vão de 0 a 255 (sistema de 8 bits).

As técnicas de classificação de imagens são utilizadas com frequência em sensoriamento remoto, em sistemas de informações geográficas, para mapear áreas correspondentes aos temas de interesse e permitem a extração de informações das imagens a partir do reconhecimento de padrões e objetos homogêneos.

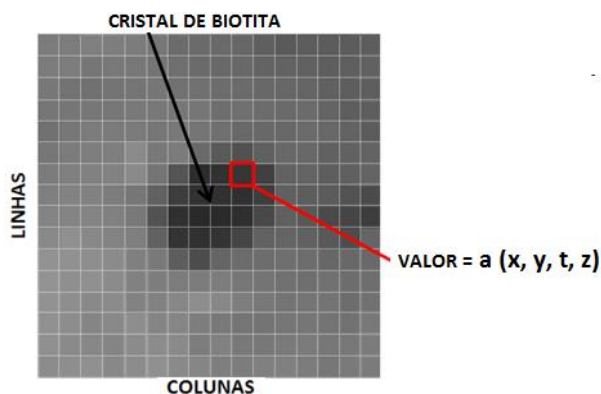


Figura 1. Imagem digital. **Legenda:** Matriz do tipo [16,16], o pixel na coordenada [m=10; n=7], tem valor 110 dentro da escala de cinza. **Fonte:** Modificado de Young (1998 *apud* Campello, 2006).

Nesses classificadores a informação de um conjunto de *pixels* similares é utilizada para delimitar regiões, unindo áreas com a mesma textura em função de suas características espaciais e espectrais. A técnica da classificação supervisionada a ser aplicada para a quantificação mineralógica neste trabalho segue a mesma lógica.

2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho é utilizar um Sistema de Informação Geográfica – SIG para realizar, por classificação supervisionada, a quantificação mineralógica bidimensional em rochas submetidas ao método da coloração seletiva por ataque químico.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

As variedades de rochas ornamentais estudadas são conhecidas comercialmente como *Butterfly Beige* (Figura 2 A), *Butterfly Gold* (Figura 2 B) e *Butterfly Green* (Figura 2 C), nomes dados a elas devido às suas cores bege, amarelo-ouro e verde, respectivamente, e aos formatos de alguns de seus cristais que, quando dispostos lado a lado, lembram borboletas com asas abertas.

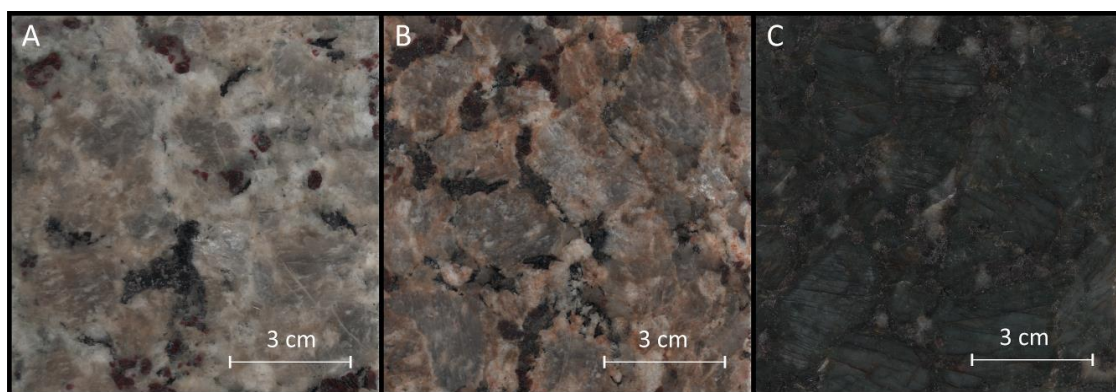


Figura 2. Rochas ornamentais submetidas a coloração seletiva por ataque químico.

Para a realização deste estudo foram utilizadas três placas (uma de cada variedade) medindo 10 cm x 15 cm x 2 cm, com uma de suas faces polidas. Além disso, foram confeccionadas duas lâminas petrográficas para cada variedade, devido às dimensões dos cristais, a fim de identificar os constituintes mineralógicos com base em suas propriedades óticas. Para o teste da coloração seletiva foi utilizada uma solução com ácido fluorídrico HF, onde as superfícies polidas das rochas foram submersas, água destilada para lavagem e outra solução contendo cobaltonitrito de sódio $\text{Na}_3\text{CO}(\text{NO}_2)_6$ onde as amostras foram submersas segundo o método proposto por Moraes e Rodrigues (1978).

As superfícies polidas dos corpos de prova foram digitalizadas, antes e após a aplicação do teste da coloração seletiva, com o auxílio de um *scanner* de mesa. As imagens foram recortadas (5 mm de cada lado para eliminação do ruído de borda) no *software* CorelDraw obtendo-se imagens com 7 megapixels de resolução (7.030.682 pixels), no formato *JPEG* (*Joint Photographics Experts Group*), intensidade de 24 bits e no padrão de cor RGB (Figura 3 A). A técnica consiste na criação de seções supervisionadas, escolhidas pelo analista, para orientar o *software* no reconhecimento de áreas espectrais similares na imagem. O *software* determina o número de pixels para cada classe estabelecida. Deste modo, cada pixel é comparado com as seções supervisionadas e rotulado como pertencente à classe com a qual mais se assemelha digitalmente. Foram então escolhidas cores de identificação para cada mineral com extração de amostras, distribuídas na imagem (Figura 3 B), de pixels correspondentes a eles. Em seguida, as cores foram agrupadas nas classes pré-determinadas (Figura 3 C) e, com base nas tabelas de atributos das imagens classificadas geradas pelo *software*, foi obtida a quantidade exata de pixels pertencente a cada classe. Como o total de pixels é conhecido, basta calcular a proporção com que cada classe ocorre na imagem classificada para quantificar as ocorrências dos minerais.

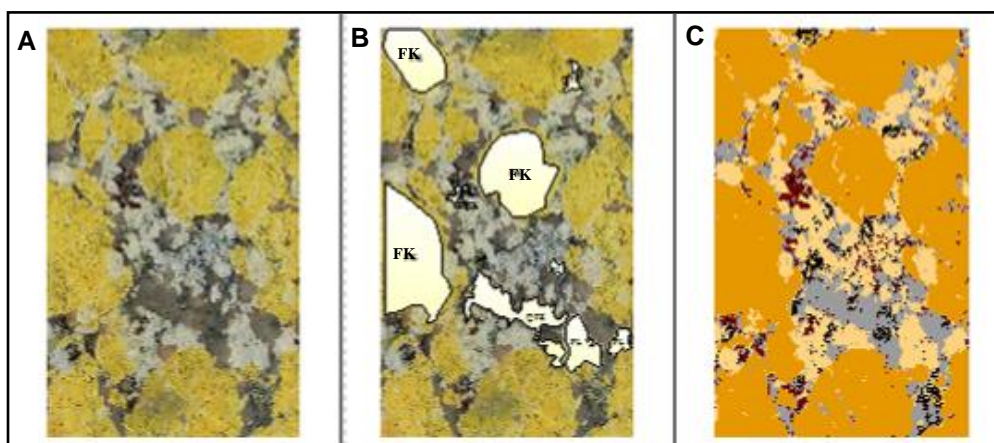


Figura 3. Ilustração dos passos adotados no *software* para a classificação dos minerais em função das suas cores após a realização da coloração seletiva por ataque químico. **Legenda:** FK – Feldspato Potássico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Petrograficamente as rochas estudadas apresentam grande similaridade composicional, textural e estrutural. São rochas com texturas inequigranulares, hipidiomórficas, de granulações grossas a porfiríticas, estruturas isotrópicas, compostas por microclínio, plagioclásio (oligoclásio), quartzo, granada, biotita, hiperstênio e traços de zircão e apatita. A tabela 1 resume as características petrográficas das três rochas. As grandes dimensões dos cristais de microclínio e a maior quantidade com que esse mineral ocorre nas três variedades ficam evidentes quando se observa as imagens digitalizadas antes e após a aplicação da técnica da coloração seletiva (Figura 4).

Tabela 1. Resumo das características petrográficas estruturais e texturais das rochas estudadas.

Características Petrográficas		<i>Butterfly Beige</i>	<i>Butterfly Gold</i>	<i>Butterfly Green</i>
Mineralogia		Microclínio, oligoclásio, quartzo, granada, biotita, hiperstênio e traços de zircão e apatita		
Estrutura/textura		Isotrópica/ Inequigranular		
Granulação	Relativa	Grossa a porfirítica		
	Variação (predominância)	0,2 a 4,5 (1 a 4) cm		0,2 a 4 (1 a 4) cm
Alteração Mineral		Incipiente	Moderada	Incipiente
Fraturamento	Tipos	intra-/intergranular		
	Aberta/fechada	aberta		
	Preenchimento	Fe(OH) ₂ /Plagioclásio/Sericita		Fe(OH) ₂ /Sericita
	Grau	Baixo	Médio	Alto

Com o uso do SIG é possível, a partir da imagem classificada, além de quantificar (bidimensionalmente através da contagem de pixels) as ocorrências dos minerais, visualizar cada fase mineral em função das diferentes classes geradas (uma para cada mineral), como pode ser observado na figura 5 (Exemplo do *Butterfly Gold*). Tal possibilidade permite visualizar melhor a distribuição dos minerais nas amostras dando perspectivas bidimensionais de seus formatos e posicionamentos bem como permite medir dimensões, calcular a área ocupada pelos minerais e até, por exemplo, medir as direções de orientação preferenciais de estruturas e minerais em rochas deformadas.

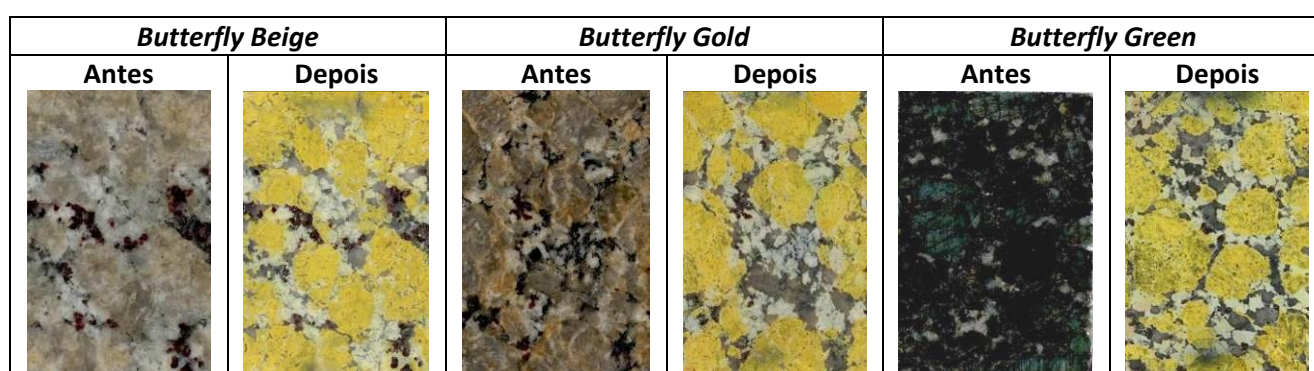


Figura 4. Aspectos das superfícies das rochas antes e depois da coloração seletiva.

Os resultados oriundos da contagem de pixels para cada classe/mineral podem ser visualizados na tabela 2. A quantidade de pixels mostra valores próximos para as três variedades com esperada predominância dos cristais de microclínio (62% para o *Beige*, 58% para o *Gold* e o *Green*). Os dados obtidos foram então recalculados (Tabela 3) para plotagem no diagrama, utilizado para classificação e nomenclatura de rochas magmáticas, elaborado por Streckeisen (1976).

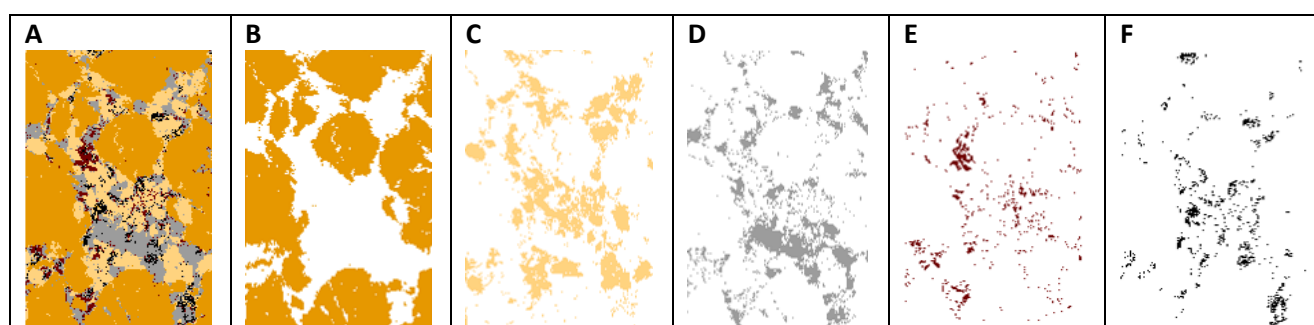


Figura 5. Ilustração da classificação supervisionada com classes individualizadas (*Butterfly Gold*). **Legenda:** **A)** Imagem classificada; **B)** Classe do microclínio, **C)** Classe do oligoclásio, **D)** Classe do quartzo, **E)** Classe da granada e **F)** Classe da biotita e do hiperstênio.

Os cristais de biotita e hiperstênio foram agrupados em uma só classe devido à dificuldade de separação das suas cores na imagem da rocha alterada pela coloração seletiva. Isso se deve ao fato do *software* identificar que as respostas espectrais dos dois minerais são similares. Como estes dois minerais não são utilizados para fins de classificação no diagrama QAP essa informação não caracteriza um impedimento para a aplicação do método.

Tabela 2. Resultados obtidos a partir das classificações supervisionadas das imagens das rochas analisadas.

Minerais	Variedades					
	<i>Butterfly Beige</i>		<i>Butterfly Gold</i>		<i>Butterfly Green</i>	
	Nº de pixels*	(%)	Nº de pixels*	(%)	Nº de pixels*	(%)
Microclínio	4.359.023	62	4.084.826	58	4.077.796	58
Plagioclásio (Oligoclásio)	1.546.750	22	1.413.167	20	1.406.136	20
Quartzo	773.375	11	1.047.572	15	913.989	13
Granada	140.614	2	288.258	4	428.872	6
Biotita + Hiperstênio	210.920	3	196.859	3	203.890	3

*Nota: O número total de pixels da imagem por variedade é igual a 7.030.682.

Tabela 3. Porcentagens minerais para plotagem no diagrama QAP e classificações obtidas para as rochas.

Minerais	Variedades		
	<i>Butterfly Beige (%)</i>	<i>Butterfly Gold (%)</i>	<i>Butterfly Green (%)</i>
Microclínio	64	65	62
Oligoclásio	22	23	22
Quartzo	14	12	16
Classificação	Quartzo-sienito		

De acordo com Streckeisen (1976), para a plotagem das rochas charnockíticas (rochas com hiperstênio) devem ser utilizados os mesmos campos referentes às rochas graníticas no diagrama QAP. A plotagem dos dados obtidos classifica as rochas como variedades de um quartzo-sienito (Figura 6). Entretanto, por possuírem hiperstênio em suas composições, o nome do mineral deve constar na nomenclatura final da rocha passando esta a se chamar quartzo-sienito com hiperstênio.

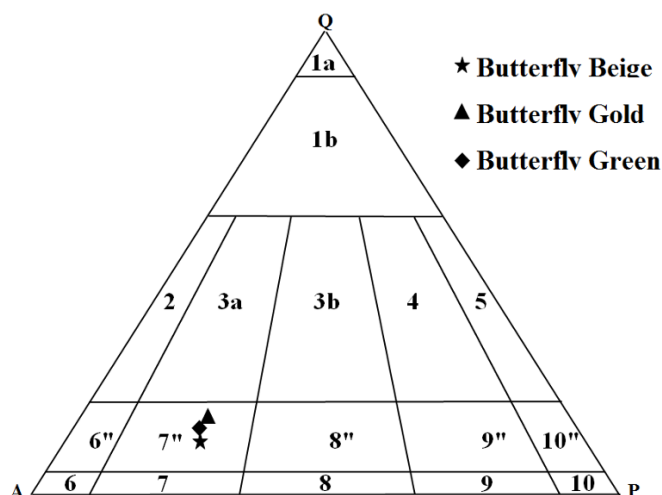


Figura 7. Diagrama QAPF adaptado de Streckeisen (1976). **Legenda: 7''**) Quartzo-sienito.

5. CONCLUSÃO

As rochas correspondem, de acordo com as contagens de pixel por classe e as porcentagens calculadas para plotagem no diagrama QAP, a quartzo-sienitos com hiperstênio. O estudo revelou que a quantificação mineralógica modal por meio da classificação supervisionada de imagens geradas a partir de amostras de rocha submetidas ao método da coloração seletiva é eficiente para rochas ígneas quartzo-felspáticas.

Os dados obtidos permitem, ainda, vislumbrar possibilidades relacionadas ao estudo de outros parâmetros como dimensões dos minerais e suas orientações preferenciais, além de fornecer perspectivas individualizadas de suas distribuições nas superfícies das amostras.

Outros métodos de coloração seletiva podem ser aplicados para a diferenciação, por exemplo, de feldspatos cálcio-sódicos com alguns reagentes específicos aumentando ainda mais a precisão do método. O problema do reconhecimento e diferenciação das respostas espectrais referentes aos cristais de biotita e hiperstênio não representa um impedimento à aplicação do método de quantificação que permitiu classificar as rochas sem qualquer dificuldade, uma vez que o diagrama de plotagem utilizado considera apenas os teores de feldspato alcalino, cálcio-sódico e de quartzo para que a classificação seja efetuada.

6. AGRADECIMENTOS

À Guidoni Mineração Ltda, à CAPES processo: 3030/13-0, ao CNPq Processo: 141706/2012-0, à UNESP e ao Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, NR-ES.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRES-BARROS, L. MAURÍCIO, A. M.; FIGUEIREDO, C. A. **Aplicação do perfilômetro de linhas à alteração e alterabilidade de rochas ornamentais carbonatadas**. Memórias e Notícias, Publ. Mus. Lab. Mineral Geol., Universidade de Coimbra, nº 122, 67-80p. 1991b.

AIRES-BARROS, L. MAURÍCIO, A. M.; FIGUEIREDO, C. A. **Definição de um índice de alterabilidade de rochas por aplicação de métodos de análise de imagem baseados na morfologia matemática binária**. Geociências, Revista Universidade de Aveiro, vol. 5, fasc. 1.2. 95-102p. 1991a.

CAMPELLO, M.S. **Técnicas de processamento digital de imagens com aplicação no setor das rochas ornamentais**. Tese de doutorado. Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (MG), 165p., 2006.

CAMPELLO, M.S., COSTA, A.G. **Desenvolvimento de metodologia para o emprego de Quantikov – software analisador de imagens, na determinação da análise modal tipos pétreos com valor comercial**. Bol. Res. Simpósio Regional de Geologia de Minas Gerais, Belo Horizonte (MG), CD. 2003.

MORAES, M.C. & RODRIGUES, E.P. **Exemplo de Aplicação de Coloração Seletiva de Feldspato Potássicos e Cálcicos, como Técnica Auxiliar no Estudo de Rochas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 21. 1978. Blumenau, Anais. Blumenau: v. 24, n. 97, p. 32-35, 1978.

MOTOKI, A.; VARGAS, T.; ZUCCO, L. L.; NEVES, J. L. P.; CARIO, F. D.; MOTOKI, K. F. **Captura direta de imagens macroscópicas de rochas via scanner**. Mineração e Metalurgia, v. 552, p. 25-30, 1999.

MOURA, M. M.; COSTA, A. G.; MOURA, A. C. M.; TOLENTINO, M. M. A. **O uso de sistema de informação geográfica para o controle de patologias em rochas de monumentos: estudo de caso da edificação histórica na cidade de Serra, Minas Gerais, Brasil**. XIII CONFIBSIG – Conferência Iberoamericana de Sistemas de información Geográfica. Toluca, México, 15p., 2011.

STEFANI, C.; BRUNETAUD, X.; JANVIER-BADOS, S.; BECK, K.; LUCA, L.; ALMUKHTAR, M. **Developing a toolkit for mapping and displaying stone alteration on a web-based documentation platform**. EM-Consulte, Elsevier, 9p., 2013.

STRECKEISEN, A. **To each plutonic rock its proper name**. *Earth-Science Reviews* Vol. 12, p.1-33, 1976.

TORQUATO, M. F. B.; TORQUATO, J. R. F.; FIGUEIREDO, C. A. M.; NOGUEIRA NETO, J. A. N. **Estudo dos granitos cearenses “Vermelho Filomena, Meruoca Clássico e Verde Ceará” por análise digital de imagem em câmara com atmosfera satura em SO₂**. Geonomos.Vol. 16, nº 2, 51-52p., 2008.

UMURANI, C.; GANESAN, L. RADHAKRISHNAN, S. **Combined statistical and structural approach for unsupervised texture classification**. International Journal of Imaging and Engineering (IJISE) 4 p, 2008.

VAZQUEZ, M. A.; GALÁN, E.; GUERRERO, M. A.; ORTIZ, P. **Digital image processing of weathered stone caused by efflorescences: A tool for mapping and evaluation of stone decay**. Construction and Building Materials. Vol. 25, 1603–1611p., 2011.

INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE BRITAS GRANÍTICAS E GNAÍSSICAS NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

*Mickey A. P. Silva¹, Felisbela M. C. Oliveira², Belarmino B. Lira³, Mayara A. Modesto⁴,
Christiane F. Perrella⁵, Michel W. P. Silva⁶*

^{1,6} Engenheiro de Minas, Universidade Federal de Pernambuco

² Profa. Dra., Universidade Federal de Pernambuco

³ Prof. Dr., Universidade Federal de Paraíba

⁴ Engenheira Civil., Universidade Federal de Pernambuco

⁵ Bióloga, Universidade Federal de Pernambuco

mickeypaixao@hotmail.com

RESUMO

Em virtude dos agregados constituírem os recursos minerais mais acessíveis e também serem responsáveis por uma enorme parcela do material consumido na construção civil, faz-se necessário um estudo mais aprofundado a respeito da utilização e aplicação dessa matéria prima. O objetivo principal é qualificar a relação entre os resultados de resistências à compressão do concreto, obtidos por meio de testes feitos em corpos-de-prova moldados com diferentes tipos de brita, de modo a identificar aquela que proporciona uma maior resistência no mesmo, quando submetido aos esforços uniaxiais de compressão. Para isso foram escolhidas amostras de rochas, sendo três orientadas e três não orientadas, para análise da qualidade do concreto produzido a partir das respectivas britas. As britas foram analisadas macroscopicamente e todas as amostras foram submetidas às mesmas etapas de britagem, e posteriormente o material resultante dessa etapa passou pelo peneirador mecânico. Através desse processo, avaliou-se individualmente o índice de forma dos devidos tipos de rochas para entender melhor o motivo dos posteriores resultados do comportamento do concreto com relação à trabalhabilidade e resistência a compressão uniaxial para cada um dos tipos de brita. A escolha do tipo de cimento torna-se muito relevante para esta análise. Faz-se necessário a escolha de um cimento que dê margem para que o tipo de brita seja a variável mais importante e decisiva no processo de resistência. Principalmente

após a análise granulométrica apresentar resultados tão próximos para o módulo de finura (com variações que não ultrapassam 0,29) e uma mesma dimensão máxima característica (25 mm) para as britas de todas as amostras.

PALAVRAS-CHAVE: agregados, granito, petrografia.

ABSTRACT

Because the aggregate constitute the most accessible mineral resources and also account for a huge portion of the consumed in construction material, it is necessary to further study regarding the use and application of this raw material. The main goal is to qualify the relationship between the results of resistance to the concrete compressive obtained by means of tests made on specimens test pieces molded with different types of gravel, in order to identify one that provides greater strength in that when subjected to uniaxial compression efforts. For this rock samples were selected: three and three non-oriented oriented to the concrete quality of the analysis produced from the respective gravel. analysis and macroscopic and microscopic classification of rocks were made. All samples were subjected to the same steps of crushing, and then the resulting material that passed through mechanical sieving step. Through this process, we assessed individually form the index of rock types due to better understand the subject of the subsequent behavior of concrete results with respect to workability and uniaxial compression strength for each type of grit. The choice of the type of cement becomes very relevant to this analysis. It is necessary to choose a cement margin so that the type of grit is most important and crucial variable in resistance process. Especially after the particle size analysis gives results as close to a fineness modulus (with variations not exceeding 0.29) and the same maximal characteristic dimension (25 mm) for the aggregates of all samples.

KEYWORDS: aggregates, granite, petrography.

1. INTRODUÇÃO

Historicamente, para as construções antigas, desde as habitacionais até os templos, os homens utilizavam a pedra natural e a madeira como matéria-prima, devido à facilidade de encontra-los na

natureza e pelas suas características. A pedra apresenta elevada durabilidade e resistência à compressão, mas, possui baixa resistência a tração. Por sua vez, a madeira tem resistência mediana e durabilidade limitada. Séculos depois, introduziram o ferro e o aço como materiais para a construção, porém, ambos poderiam ser avariados através do processo de corrosão.

Logo, havia a necessidade de desenvolver materiais que apresentassem as duas características: resistência e durabilidade. Assim, surgiu o concreto. Este material consiste da mistura do cimento, água, areia e agregado (brita). Onde os três primeiros elementos formam uma pasta, que por sua vez envolve o agregado, resultando num composto capaz de suportar maiores esforços mecânicos nas mais variadas formas geométricas.

O setor de agregados para a construção civil possui a parcela de insumos minerais mais consumidos e, conseqüentemente, os mais significativos em termos de quantidades produzidas no Mundo. Os agregados são os recursos minerais mais acessíveis e as matérias-primas mais importantes usadas na indústria da construção civil, sendo o concreto, depois da água, o segundo material mais consumido em volume pela humanidade (FERREIRA, 2003, p.02).

O consumo de agregados está diretamente relacionado ao consumo do concreto, que por sua vez, retrata a qualidade de vida de uma comunidade.

De acordo com ANDRIOLO (1984) em um volume de concreto convencional, os agregados, tanto gráudo como o miúdo, ocupam cerca de 75% de seu volume. Dessa forma, é inevitável que um material com uma porcentagem tão elevada na massa do concreto, contribua nas propriedades do concreto fresco e endurecido.

Assim, foram escolhidas amostras de rochas, sendo três orientadas e três não orientadas, para análise da qualidade do concreto produzido a partir das respectivas britas.

O presente trabalho tem como objetivo principal qualificar a relação entre os resultados de resistências à compressão do concreto, obtidas por meio de testes feitos em corpos-de-prova moldados com diferentes tipos de brita, de modo a identificar a brita mais resistente.

2. METODOLOGIA

De acordo com o Ministério de Minas e Energia, 85% dos materiais usados para produzir brita são compostos por granito e gnaisse. Assim, foram eleitos esses dois tipos de rocha para uma análise mais detalhada do comportamento da resistência à compressão do concreto confeccionado com cada uma delas. Foram selecionadas três amostras de rochas graníticas e três

de rochas gnáissicas, todas originadas de locais distintos. As gnáissicas foram colhidas na Pedreira Esperança, no município de Vitória de Santo Antão, na Pedreira Maracatu, em Nazaré da Mata e na Pedreira Bricol, BR 232, km 118, da em Caruaru. As graníticas foram colhidas na Pedreira Guarani, BR 101, município de Jaboatão dos Guararapes, no município de Bezerros, próximo a Pedra do Martelo, e fornecidas pelo Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas, (LABEME), localizado no Centro de Tecnologia da UFPB, João Pessoa.

Primeiramente, foi realizada a análise macroscópica dos materiais de acordo com a NBR 15845 – anexo A. Em um segundo momento, foi executada a britagem das amostras: foi realizada a redução primária das amostras, no britador de um eixo e posteriormente as partes que ainda ficaram com uma granulometria superior a 25 mm foram britadas em um britador de dois eixos.

O terceiro passo consistiu na classificação das britas: foi seguida a metodologia especificada nas normas brasileiras, NBR NM 248/01 Agregados – Determinação da composição granulométrica e NBR 7211 Agregado para concreto – Especificação. No quarto passo, foram analisados os índices de forma, conforme a norma NBR 7809. No quinto passo, a moldagem dos corpos de prova é executada seguindo as diretrizes da norma NBR 5738 (2008). A normalização destes processos é de fundamental importância para a padronização dos resultados e para possibilitar a comparação entre resultados obtidos nos mais diversos locais. O sexto passo consistiu da desmoldagem dos corpos de prova que devem permanecer nas fôrmas, nas condições de cura inicial conforme a norma, durante 24 horas, para só assim, desde que as condições de endurecimento do concreto permitam a desforma sem causar danos ao corpo-de-prova, serem então desformados. Posteriormente à desmoldagem, os mesmos foram colocados na câmara úmida. O sétimo processo, denominado de processo de cura dos corpos de prova se deu inteiramente na câmara úmida, onde eles permaneceram à uma temperatura de 25°C e 95% de umidade até o dia de serem ensaiados, que ocorreu aos 7, 14 e 28 dias. No penúltimo passo, os corpos de prova foram todos retificados por desgaste mecânico das extremidades, por meio de um disco abrasivo. E por fim, foram executados os ensaios de ruptura à compressão simples. Os projetos recorrentes de engenharia geralmente especificam a resistência à compressão do concreto para a idade de 28 dias. Isto se deve ao fato de grande parte da resistência final do concreto ser alcançada nesta idade, embora o crescimento de resistência seja observado claramente até os 360 dias (BAUER, 2000).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a determinação do índice de forma, após a definição da quantidade de britas a serem medidas em cada fração granulométrica, foi feita a medição das mesmas com uso do paquímetro eletrônico conforme mostrado na figura 1, abaixo.



Figura 1 – Medição das britas com uso do paquímetro

Em seguida, com as dimensões das britas, foi calculado o índice de forma (IF), conforme a norma NBR 7809. Os resultados para cada amostra constam na 1, tabela abaixo.

Tabela 1- Índice de Forma (IF)

Pedreiras	Índice de Forma	Tipo de Rocha
Pedreira Esperança (Vitória de Santo Antão)	2,76	Gnaíssica
Pedreira Maracatu (Nazaré da Mata)	2,99	Gnaíssica
Pedreira Brial (Caruaru)	2,43	Gnaíssica
Pedreira Guarany (Jaboatão)	2,31	Granítica
Pedra do Martelo (Bezerros)	2,40	Granítica
Granito (João Pessoa)	2,58	Granítica

Para a determinação da resistência à compressão simples, os corpos-de-prova (dois para cada pedreira) foram rompidos dois a dois, aos 7, 14 e 28 dias, sendo o resultado final a média dos valores de resistência obtidos para cada dois corpos de prova oriundos da mesma pedreira. Esses

valores médios foram utilizados para descrever o comportamento de cada uma das amostras em relação à resistência a compressão uniaxial.

Os resultados obtidos estão descritos na tabela 2, abaixo.

A descrição do comportamento de cada um dos tipos de rocha consta na tabela a seguir. As mesmas distribuem-se em gnáissicas, amostras 1, 2 e 3, advindas respectivamente da Pedreira Esperança, Pedreira Maracatu e Pedreira Brical, e por fim, graníticas, amostras 4, 5 e 6 representam Pedreira Guarany, Granito Pedra do Martelo e Granito João pessoa, respectivamente.

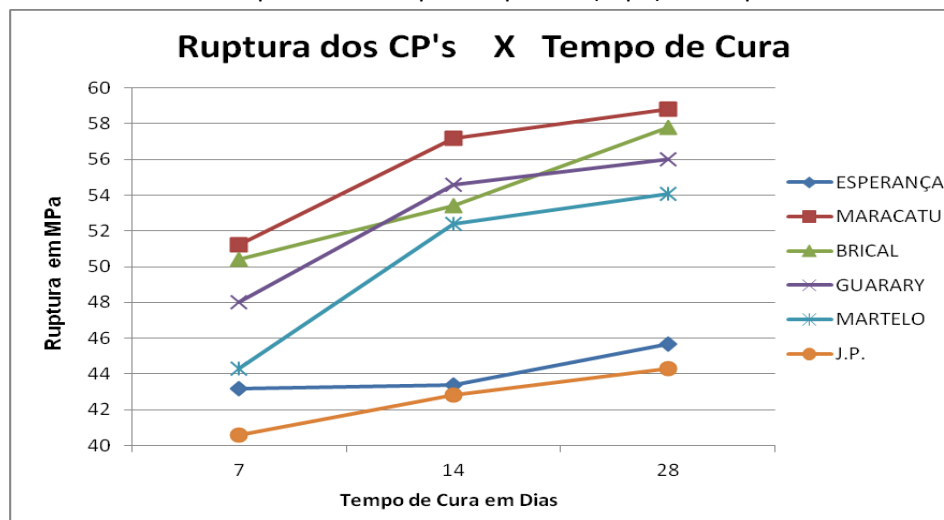
Tabela 2 - Tabela de resultados da Análise da Ruptura dos Corpos-de-Prova

Tipo de CP 10 x 20 cm	7 dias		14 dias		28 dias	
	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Resistência (MPa)	Média (MPa)
Amostra 1	43,5	43,2	44,4	43,4	45,1	45,7
	42,9		42,5		46,3	
Amostra 2	50,4	51,2	56,6	57,2	58,7	59,6
	52,1		57,7		60,2	
Amostra 3	50,4	50,4	55,3	53,4	58,0	58,8
	50,4		51,4		59,7	
Amostra 4	48,8	48,0	54,6	54,6	55,3	56,0
	47,2		54,6		56,7	
Amostra 5	39,5	42,0	53,5	52,4	55,6	53,9
	44,6		51,2		52,2	
Amostra 6	41,3	40,6	38,5	42,8	42,3	44,3
	39,9		47,2		46,3	

Os resultados da resistência à compressão simples das várias amostras em função do tempo de cura, estão dispostos no gráfico 1, abaixo. Esse gráfico mostra o aumento da resistência das amostras com o aumento do tempo de cura das mesmas. A resistência do concreto à compressão é uma das principais propriedades do concreto e está associada ao tempo de cura do concreto. A cura, processo de endurecimento do concreto sob umidade, é a última etapa do processo de produção do concreto a mesma deve ser bem executada, pois quanto maiores os cuidados com a cura do concreto, melhor é o seu desempenho mecânico e a sua resistência aos agentes agressivos do meio ambiente. Na cura do concreto deve-se manter teor de umidade satisfatório evitando a

evaporação de água da mistura. Também se deve garantir temperatura favorável durante o processo de hidratação do aglomerante afim de que o concreto possa desenvolver as propriedades requeridas.

Gráfico 1 - Ruptura dos Corpos de provas (Mpa) X Tempo de Cura



Através da análise dos resultados do cálculo do índice de forma (Tabela 1), nota-se uma tendência nas britas advindas das rochas graníticas, em apresentarem melhores valores do (IF). Este fato já era esperado devido ao direcionamento dessas últimas, causado pela sua constituição em bandas e pelo fato dos seus grãos minerais serem mais alongados, resultando em geral, em britas mais lamelares. Esse tipo de brita apresenta alguns inconvenientes devido à sua forma mais alongada: maior consumo de cimento e maior possibilidade de formação de porosidade, pois a água de amassamento pode ficar contida nos vazios formados pelas britas com dimensões mais alongadas.

Mesmo com a semelhança entre os dois tipos de rochas nas mais diversas propriedades, e com valores próximos entre os índices de forma, das amostras analisadas, as três britas graníticas apresentaram-se entre os quatro melhores resultados para o (IF). Ocorreu um comportamento não muito coincidente com relação à capacidade de resistir à compressão, em especial para a brita Maracatu. Pois se espera que quanto maior o índice, haja um menor favorecimento quanto à resistência a compressão uniaxial. Porém as britas gnáissicas, com destaque para a brita Maracatu, que apresentou o maior de todos os valores de índice de forma, (quase ultrapassando o valor máximo tolerado, 3,0), teve os melhores resultados nos testes de resistência a compressão uniaxial. Tanto para 7, como para 14 e 28 dias.

Tiveram-se como coincidentes aos que seriam esperados, apenas os resultados da amostra Esperança. A mesma apresentou o penúltimo valor entre os índices de forma e manteve também a quinta posição no resultado do teste de resistência a compressão.

As demais amostras, Bricol, Guarany, Martelo e Granito J.P., tiveram os seus valores relativamente próximos, porém não coincidentes.

A escassez de literatura que relacione diretamente o índice de forma das britas com a capacidade das mesmas em resistir à compressão, aliadas a ausência de uma NBR específica, repercute numa discussão com poucos embasamentos positivos e/ou negativos.

Entretanto, pelo que foi observado neste trabalho nota-se que as rochas com os melhores valores para índices de forma não mantiveram os maiores valores para resistência a compressão, contrariando os resultados que eram esperados, baseados nas características das rochas. Provavelmente isso aconteceu devido à semelhança morfológica e dos minerais que compõe cada uma destas amostras, pois elas divergem basicamente nas proporções em que os mesmos estão presentes em cada uma. Também há que se verificar a profundidade de formação de cada rocha e o tipo de metamorfismo interveniente. Rochas formadas a maiores profundidades apresentam menor porosidade que aquelas formadas em menores profundidades, o que pode apresentar desdobramentos na resistência final do concreto.

4. CONCLUSÕES

Observou-se que os concretos fabricados com rochas graníticas e gnáissicas apresentam excelentes valores para a resistência à compressão simples, sendo as médias das resistências, superiores a 40,0 MPa. Entretanto, a resistência de um concreto fabricado com britas gnáissicas, Pedreira Maracatu, foi aquele que apresentou o maior valor, apesar de apresentar também o maior índice de forma, 2,99, que é muito próximo de 3 (três), valor limite para a brita ser usada para concretos que produzam alta resistência. Isto pode ter ocorrido por conta do tipo de metamorfismo que atuou sobre esta rocha fazendo com seus minerais recristalizados sob a ação dos agentes metamórficos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR NM 248: Agregados - determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 6p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação, Rio de Janeiro, RJ, 2009.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7809. Agregado Graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro. Rio de Janeiro, 2006.

ANDRIOLO, F.R. Construções de Concreto: Manual de Práticas para Controle e Execução. São Paulo, (1984).

BAUER, L. A. F. Materiais de construção. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

FERREIRA, G. E. ; SILVA, V. S. **Estudo do mercado nacional de agregados**, 2003. P.1-15 (Relatório de pesquisa).

GIAMUSSO, Salvador E. **Manual do Concreto**. São Paulo: Pini, 1992.162p.

MAGALHÃES, F. C. **Estudo Probabilístico da Resistência à Compressão e da Resistência à Tração na Flexão dos Concretos Utilizados na Construção do Dique Seco do Estaleiro Rio Grande, no Superporto, em Rio Grande-RS**. Dissertação. FURG, Rio Grande – RS, 2009.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. **Produto 22 – Agregados para a construção Civil. Relatório Técnico 30 – Perfil de Brita para Construção Civil**. Brasília: Ago. 2009.

ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO REAPROVEITAMENTO DO ESTÉRIL DE ROCHAS ORNAMENTAIS COMO AGREGADOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL.

*Weverton Pereira do Sacramento*¹, *Maria de Lourdes de Oliveira*², *Luana Leite Ferreira*³, *Robson Wotikowski Guedes*⁴

¹ Engenheiro de Minas, professor da Coordenadoria de Mineração do Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, coordenador da pesquisa, agência financiadora - CNPq, Rodovia Miguel Curry Carneiro, 799 – Santa Luzia, 29.830-000, Nova Venécia – ES. wsacramento@ifes.edu.br

² Engenheira Civil, professora da Coordenadoria de Edificações do Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, colaboradora da pesquisa, Rua Irany, 87 – Filomena, 29.830-000, Nova Venécia – ES. mariadelourdes@ifes.edu.br

³ Estudante do Curso Técnico em Mineração – IFES, Rua Pau Brasil, 31 – Cacique 2, 29.932-180, São Mateus – ES. luanaleite010@gmail.com

⁴ Estudante do Curso Técnico em Mineração – IFES, Rua Marcelino Chagas, 11 – João Colombi, 29.780-000, São Gabriel da Palha – ES. robsonwguedes2015@hotmail.com mariadelourdes@ifes.edu.br

RESUMO

A presente pesquisa tem por objetivo verificar a viabilidade técnica do reaproveitamento do estéril da lavra de rocha ornamental como agregado para a construção civil. Para tanto, foi necessário fazer a análise técnica do estéril disponível no sentido de verificar se o mesmo atende às exigências das normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT que dispõe sobre as características físicas e químicas necessárias aos agregados para o uso e aplicação na construção civil. Isso porque a mineração é uma atividade antrópica que causa impactos ambientais, relevantes: poluição visual, supressão da vegetação local, poluição sonora, atmosférica e geração de resíduos de várias granulometrias. Estes resíduos tem sido dispostos no meio ambiente na forma de aterros e bota-foras que além de demandarem áreas para a disposição do estéril descartam material que pode ter uso como agregado para construção civil. Neste sentido, os resultados da pesquisa indicaram a possibilidade de que o material atualmente tratado como passivo ambiental se torne um subproduto da exploração de rochas ornamentais amenizando desta forma tanto os impactos ambientais causados pela geração de grande quantidade de estéreis dispostos no meio ambiente quanto diminuindo a necessidade de exploração de novas áreas para geração de agregados para a construção civil. Para realizar a pesquisa os trabalhos foram divididos em duas etapas: A primeira consiste na análise técnica do material descartado por uma mineradora de rochas ornamentais chamado branco primata que apresenta a seguinte composição mineralógica: 33% de quartzo, 25% de plagioclásio, 20% de feldspato alcalino, 12% de biotita, 7% de granada e 3% de sillimanita. As análises físico-químicas como desgaste, abrasão, resistência à compressão em fase de execução laboratorial indicam até o momento pela possível

viabilidade do uso como agregado para a construção civil. A segunda etapa consistirá na análise do mercado local, pesquisa dos custos de britagem, armazenamento, transporte e comercialização do estéril transformado em brita. Assim, mesmo que alguma análise indique pela inadequação do material para uso na construção civil será apresentada uma sistematização metodológica de estudos de viabilidade técnica para o uso de estéril de lavra de rocha ornamental para uso como brita, metodologia esta que poderá ser aplicada em outras realidades.

PALAVRAS-CHAVE: mineração, estéril, reaproveitamento.

ABSTRACT

This research aims to verify the technical feasibility of sterile reuse of ornamental rock mining as aggregate for construction. Therefore, it was necessary to make the sterile technical analysis available in order to verify whether it meets the requirements of the technical standards of the Brazilian Association of Technical Standards - ABNT which provides for the physical and chemical characteristics necessary to aggregates for use and application in construction. This is because mining is a human activity that causes environmental impacts, relevant: visual pollution, suppression of local vegetation, noise pollution, air and waste generation in various grain sizes. This waste has been discharged into the environment in the form of landfills and boot-forces that demand it as well as areas for the provision of sterile discarded material that can be used as aggregate for construction. In this sense, the survey results indicated the possibility that the currently treated as environmental liabilities material to become a byproduct of ornamental stone exploitation softening this way both the environmental impacts caused by the generation of large numbers of willing sterile the environment as decreasing need for exploitation of new areas for generating aggregates for the construction industry. To conduct the research work was divided into two stages: The first is the technical analysis of the material discarded by a miner of ornamental rocks called primate white that has the following mineralogical composition: 33% quartz, 25% plagioclase, 20% alkali feldspar, biotite 12%, 7% and 3% grenade of sillimanite. The physico-chemical analysis such as wear, abrasion, compressive strength in laboratory implementation phase indicate so far the possible feasibility of using as aggregate for construction. The second stage will consist of the analysis of the local market, research the crushing costs, storage, transportation and marketing of sterile turned into gravel. So even if some analysis indicates the inadequacy of the material for use in construction will be presented a systematic methodology of technical feasibility studies for the use of sterile ornamental rock mining for use as gravel, methodology this that can be applied to other realities .

KEYWORDS: mining, sterile, reuse.

1. INTRODUÇÃO

O presente texto apresenta os resultados da pesquisa realizada com o granito de composição mineralógica: 33% de quartzo, 25% de plagioclásio, 20% de feldspato alcalino, 12% de biotita, 7% de granada e 3% de sillimanita, chamado comercialmente de branco primata para utiliza-lo como agregado médio e miúdo na construção civil. Extraído na região noroeste do Espírito Santo, na zona rural de Nova Venécia com a finalidade de produzir blocos e chapas para uso como rocha ornamental possui produção méida anual de 6.187 m³. O aproveitamento nas lavras de rochas ornamentais varia de acordo com a formação geológica, características macro e microscópicas, geomorfológicas, homogeinidade do material lavrado e do tipo de lavra. Num levantamento amostral e aleatório apurou-se aproveitamentos de 10%, 42% e 73%, respectivamente em materiais branco, amarelo e cinza. No caso em estudo o aproveitamento medido em 2015 foi de 48,73% gerando em média 3.172,07 m³ de estéril, material que sobra após a seleção e o corte dos blocos comercializaveis, ou seja, 8.421,86 toneladas de material granítico tratado como estéril da lavra de rocha ornamental que é descartado como inservível e realocado na natureza.

Segundo Menezes e Sampaio (2012), considerando apenas a região noroeste do Espírito Santo há 200 minas cadastradas em atividade e dados da ABIROCHAS (2012) mostram que o volume de produção de rocha granítica no Brasil naquele ano foi de 4,6 milhões de toneladas e somente o Espírito Santo exportou 1.512.687,78 toneladas estimando que um volume semelhante de material vem sendo descartado o aproveitamento destas rochas como agregado para construção civil pode representar em torno de 2% da demanda nacional por brita considerando a produção de 2010 que segundo o IBRAM foi de 184 milhões de toneladas.

As vantagens econômicas e ambientais são consideráveis, pois pode-se obter uma brita com menor custo por ser produzida como um subproduto de rochas ornamentais economizando com o processo de perfuração e desmonte por explosivos requerendo investimentos nos processos de britagem e peneiramento. Ambientalmente elimina-se parte da intervenção sobre áreas usadas para alocar este material que por sua vez requer a movimentação de grandes quantidades de terra para preparação da área para revegetação.

Cavalcante et al (2003) ressalta a importância do aproveitamento dos rejeitos de lavras de granito para confecção dos diversos insumos de rochas de emprego imediato pela construção civil, na forma de alicerce, muro de arrimo, paralelepípedos, pedra tosca para calçamentos, cascalho para aterros, britas de pós, de modo a criar uma fonte de renda mínima com agregação de valor ao material extraído.

Os agregados são os recursos minerais mais importantes usados na indústria da construção civil. O concreto, em média, contém 42% de brita, 40% de areia, 10% de cimento, 7% de água e 1% de aditivos químicos por metro cúbico. Sendo o segundo material mais consumido pela humanidade, superado apenas pela água.

Desta forma, a utilização do estéril como brita para a construção civil não elimina a necessidade de existir pedreiras com atividade específica para a produção de agregados (britas), mas pode se tornar uma condicionante para as pedreiras de rochas ornamentais na medida em que transforma o estéril em um subproduto evitando o descarte na natureza e os impactos ambientais advindos desta prática.

2. RERENCIAL TEÓRICO

A atividade mineral de exploração de rochas ornamentais na região norte e noroeste do Estado foi intensificada a partir da década de 1980 quando cresceu a demanda internacional por rochas graníticas devido à diversidade cromática e a maior resistência do que os mármore, como a região possui amplas reservas destes materiais foram sendo criados polos de produção que tiveram significativo avanço a partir de 1990, quando seguindo a tendência mundial passaram a adotar o fio diamantado como principal recurso da lavra. Desde então vem apresentando sucessivas taxas de crescimento da produção fácil deduzir que proporcionalmente vem crescendo a quantidade de material descartado e os impactos ambientais causados tanto pelo estéril da lavra de rochas ornamentais como pela necessidade de abertura de minas para fornecimento de agregados para construção civil que também vem crescendo a demanda ano após ano.

Neste sentido, indicar a possibilidade de uso para este material é de significativa relevância tanto para a mineração e construção civil quanto para o meio ambiente. Na presente pesquisa verifico-se o comportamento físico do concreto produzido com a brita até então descartada como insensível.

2.1 Agregados:

Bauer (2008) afirma que: “agregado é o material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos.” Os agregados classificam-se segundo a origem, as dimensões das partículas e o peso específico aparente.

Segundo a origem são: naturais - os que já se encontram em forma particulada na natureza areia e cascalho; e, industrializados - os que têm sua composição particulada obtida por processos industriais. Nestes casos, a matéria-prima pode ser: rocha, escória de alto-forno e argila. E segundo *as dimensões das partículas*: miúdo: areias – $0,075\text{mm} < d < 4,8\text{mm}$; e, gráudo – cascalhos e britas – $4,8\text{mm} < d < 152\text{mm}$.

3. PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS

A metodologia adotada para verificar a adequação da brita produzida a partir do estéril do granito branco primata foi comparar a resistência à compressão de quatro corpos de prova feitos com essa brita, em análise, com quatro corpos de prova feitos com brita adquirida no comércio da região nas mesmas condições laboratoriais e atendendo às especificações das NBR's NM12 e NM248.

Para a produção dos oito corpos de prova foram utilizados 109,71 kg de brita do branco primata e 111,76 kg da brita comercial, mantendo-se volume constante de $0,041\text{ m}^3$.

A britagem foi realizada com o britador de mandíbulas BM120080 que possui abertura de alimentação de 89 x 127 mm. Foram realizadas cinco britagens com duração média 4 minutos e 32 segundos suficiente para britar em média 20 kg de granito branco primata de cada vez. A britagem foi inicialmente alimentada com 109,71 kg e ao final obteve-se 108,93 kg de material britado com perda de 0,71% ou 780 g. Todo o material britado seguiu para o quarteamento.

O ensaio de quarteamento foi realizado no laboratório de Tratamento de Minérios do Campus Nova Venécia – IFES, utilizando o quarteador mecânico do tipo Jones de 18 canais com largura de 20mm cada canal. Na homogeneização produziu-se 8 amostras com aproximadamente 13,61 kg cada. Todo o material quarteado separado em amostras seguiu para o peneiramento.

O ensaio de peneiramento no laboratório de tratamentos de minérios foi colocada em uma sequência de peneiras com as seguintes dimensões granulométricas 19mm; 9,5mm; 4,75mm; 2,36mm; 1,18mm; 600#; 300#; 150#; <150#. A tabela 1 mostra a quantidade e o percentual de material obtido em cada granulometria.

Tabela 1. Análise granulométrica

PENEIRAS (mm/#)	PESO ACUMULADO (kg)	RETIDA SIMPLES (%)	RETIDA ACUMULADA (%)	PASSANTE (%)
9,519	51,34	47,13%	48,81%	51,19%
4,75	27,93	25,64%	74,45%	25,55%
2,36	7,99	7,34%	81,79%	18,21%
1,18	5,98	5,49%	87,28%	12,72%
#600	3,93	3,61%	90,89%	9,11%
#300	3,84	3,53%	94,42%	5,58%
#150	2,79	2,56%	96,98%	3,02%
< 150	3,20	2,94%	99,92%	0,08%
TOTAL	108,83	99,92%	*	*
PERDA	0,10	*	*	*

Como pode ser observado na tabela 1 em torno de 80,11% do material gera brita 1 que é entre as britas a mais usada na construção civil.

3.1. Produção dos corpos de prova

No laboratório de concreto do Campus Nova Venécia – IFES, a betoneira foi inicialmente primada com o mesmo traço para evitar perda de material e desgaste por abrasão do revestimento da betoneira a partir do atrito com a brita causado pela movimentação circular da mesma. O traço foi constituído de 1,5 lata de areia, 20 litros, com umidade em torno de 5,5%, 1,5 lata de brita 1, 20 litros, 12,5 kg de cimento e 6,25 kg de água que devido à temperatura no laboratório na hora do experimento ter variado em torno dos 34°C foi necessário a adição de mais 1,5 kg de água para se

obter um concreto em ponto adequado. Após 10 minutos do material sendo preparado na betoneira o concreto foi virado em recipiente adequado e se procedeu o preenchimento dos cilindros para produção dos corpos de prova. Uma das medidas adotadas para controle de qualidade dos corpos de prova foi a medição com paquímetro da circunferência e o não transporte dos mesmos pelo tempo estabelecido nas NBR's 5738:2008 e 5739:2007.

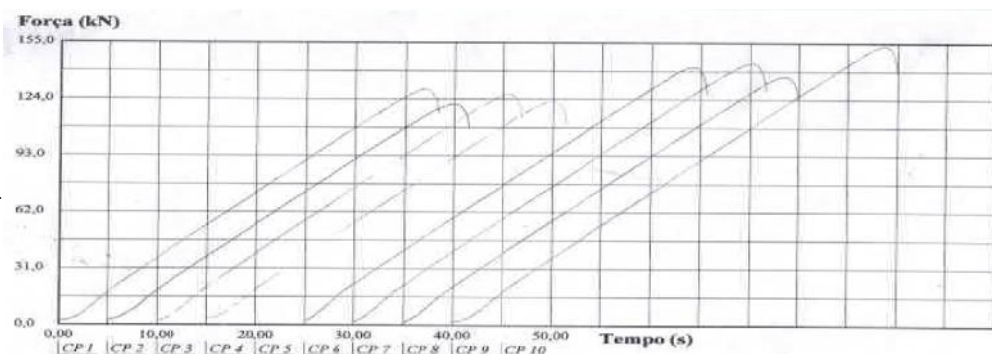
4. RESULTADOS E ANÁLISES

4.1. Tensão – deformação

O grau segundo uma estrutura se deforma depende da intensidade da tensão que é imposta, $\sigma = E \times \varepsilon$, onde σ = tensão, E = e ε = elasticidade). O processo de deformação no qual a tensão e a deformação são proporcionais é chamada de deformação elástica.

Existem alguns materiais, como o concreto, por exemplo, para os quais esta porção elástica da curva tensão-deformação não é linear. Para este comportamento não-linear utiliza-se normalmente um módulo tangente ou secante para a deformação do módulo de E . O gráfico 1 mostra o comportamento não-linear do concreto.

Gráfico 1. Força pelo tempo



A partir do comportamento da

tensão-deformação algumas propriedades mecânicas do material podem ser obtidas como módulo de elasticidade e carga máxima aplicada. Sabe-se que a porosidade do concreto influencia $[E = E_0(1 - 1,9P + 0,9P^2)]$ no seu módulo de elasticidade, e portanto, na sua resistência à compressão, uma vez que $\sigma = E \times \varepsilon$ e $\sigma = F/A$. Pelos resultados na tabela 2, $\sigma = F/A$, exemplificando para CP1, temos $\sigma_{máx} = F_{máx}/A = 129386N/7916,94mm^2$, então $\sigma = 16,3 N/mm^2$, logo $\sigma_{máx} = 16,3 Mpa$. Mas a realidade é que nas obras, não se tem as condições idealizadas em laboratório e muitos

procedimentos são negligenciados, como o adensamento do material, que implica no índice de porosidade do concreto afetando o módulo de elasticidade.

A tabela 2 mostra os valores em MPa encontrados ao se romper no vigésimo oitavo dia os corpos-de-prova, onde CP1, CP2, CP3 e CP4 são corpos-de-prova de produzidos com a brita em teste, granito branco primata, e, os corpos-de-prova de prova CP6, CP7, CP8 e CP9 foram produzidos com a brita comercial registrada e vendida na região para uso na construção civil em geral.

Tabela 2. Ensaio de Resistência à Compressão

MÁQUINA: EMIC SSH300 -EXTENSÔMETRO- DATA: 01/12/2015					
HORA:14:08:21pm TRABALHO N° 0140 PROGRAMA: TESC VERSÃO 3.04					
MÉTODO DE ENSAIO: COMPRESSÃO CP PC 200					
INDEFINIÇÃO DA AMOSTRA: MATERIAL => BRITA DE TESTE					
INDEFINIÇÃO: ESTÉRIL DA LAVRA DE GRANITO					
CORPO DE PROVA	ÁREA (mm ²)	FORÇA MÁXIMA (N)	RESISTENCIA A COMRESSÃO (MPA)	REFERENCIA	IDADE
CP1	7916,94	129386,26	16,3	Brita teste	28
CP2	7885,43	121290,74	15,4	Brita teste	28
CP3	7940,61	126829,78	16,0	Brita teste	28
CP4	7916,96	123208,10	15,6	Brita teste	28
CP5	7909,05	141955,61	17,9	Brita comercial	28
CP6	7909,05	144086,02	18,2	Brita comercial	28
CP7	7853,98	136700,63	17,4	Brita comercial	28
CP8	7901,18	153317,75	19,4	Brita comercial	28

NÚMERO CPs	8	8	8	0	0
MÉDIA	7905	134600	17,03	0	0
MEDIANA	7909	133000	17,03	0	0
DESV.PADRÃO	23,99	113000	16,87	0	0
COEF.VAR.(%)	0,3034	8,393	8,450	0	0
MIMINO	7854	121300	15,38	0	0
MAXIMO	7941	153300	19,40	0	0

Analisando os dados mostrados na tabela 2 verifica-se que os resultados obtidos ficaram próximo do mínimo desejado de 15 Mpa conforme estabelecido pela NBR 12655:2015, isto considerando que mantivemos o traço padrão o que pode ser melhorado com alterações no traço com variações nos agregados. Desta maneira, a pesquisa não se encerra aqui

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atividade de exploração é, por natureza, causadora de impactos ambientais. Tais impactos são decorrentes da exploração, muitas vezes desordenada das jazidas e causam graves problemas ambientais, pois agridem as calhas naturais dos rios, levando a um aumento da vazão de água e acelerando o processo de erosão das margens. A erosão acaba retirando a cobertura vegetal dessas áreas e tornando o solo estéril, sem crescimento de vegetação e sem possibilidade de recomposição do ambiente explorado. Neste sentido, a atual legislação vem obrigando os produtores a lançar mão de técnicas de gerenciamento e de extração ou até de interdição de jazidas que não atendem às suas exigências.

A viabilidade de se substituir os agregados miúdos e graúdos por estéril de lavra de rocha ornamental vem sendo pesquisada há anos e se espera que a aceitação para determinados serviços na construção civil se concretize, tornando uma prática mais sustentável, pois colabora para que volumes menores de areia ou brita sejam retiradas do meio ambiente, além de evitar o grande descarte de resíduos proveniente da lavra de rochas ornamentais. Em função das restrições legais impostas à extração de agregados miúdos naturais que incrementa a degradação ambiental, tem-se procurado pelo meio técnico substituir os agregados miúdos/graúdos naturais.

A partir dos resultados até o momento obtidos pode-se propor a aplicação dos agregados miúdos ou graúdos do estéril de lavra de rocha ornamental, branco primata, nos seguintes serviços: fornecimento, preparo e aplicação de concreto ciclópico $F_{ck}=15\text{MPa}$ com 30% de pedra de mão (Item 040202 - IOPES¹); paisagismo: espalhamento de brita e pó-de-pedra; lastro para regularização de contra piso; alvenaria de blocos de concreto estrut. (19x19x39cm) cheios, com resistência mínima a compressão 15Mpa (Item 050502 – IOPES); meio-fio para pavimentação de tráfego leve (pátio escolas, creches, estacionamentos); verga/contraverga reta de concreto armado 10 x 5 cm, $F_{ck} = 15 \text{ Mpa}$ (Item 050301 - IOPES); contra pisos e outras áreas que sofrem esforço; fornecimento, preparo e aplicação de concreto $F_{ck} = 15 \text{ MPa}$ (brita 1 e 2) (Item 040233 – IOPES); capeamento de Lajes pré-moldadas $e = 2\text{cm}$ a $e = 4\text{cm}$ com $F_{ck} = 15\text{Mpa}$; lastro de brita.

As possibilidades de uso do estéril da lavra de rochas ornamentais pode ter aplicações mais nobres do que o descarte, mas é preciso que os órgãos fiscalizadores e reguladores dos setores minerais e da construção civil, dialoguem entre si e estabeleçam critérios voltados para este fim. Por exemplo, requerer que o minerador apresente no Plano de Lavra estudos de viabilidade técnica e econômica para usar o material que vem sendo descartado por não ter emprego como rocha ornamental em outros setores. Da mesma forma estabelecer normas para o uso de agregados na construção civil advindos do estéril da mineração em situações em que o material não será exposto a grandes esforços de compressão.

Em síntese, o trabalho aqui apresentado é ao mesmo tempo parte de uma série de outras pesquisas que vem sendo realizadas com objetivos semelhantes e o ponto de partida de uma longa caminhada que pode trazer resultados favoráveis para os setores da mineração, da construção civil, do meio ambiente e da pesquisa.

¹Instituto de Obras Públicas do Espírito Santo – Governo do Estado, tabela de referenciais para Licitação de Obras Públicas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto – Procedimento para modelagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12565: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

BAUER, L. A. Falcão; revisado por DIAS, João Fernando. Materiais de Construção. 5 ed. Revisada, [reimpr.]. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 488p.

CARVALHO, Roberto Chust. FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2003. 3. Ed. São Carlos: EdUFSCar, 2013.

CAVALCANTE E. Silva, D., Vidal, F. W. H. (2003). Aproveitamento econômico de rejeitos de lavra de granitos nas pedreiras: Rosa Iracema e Vermelho Filomena. In: MORAIS J. O. Rochas industriais: pesquisa geológica, exploração, beneficiamento e impactos ambientais. Fortaleza, Realce, cap 4. COMISSÃO BRUNDTLAND.

MENEZES, Ricardo Gallart de; Sampaio, Paulo Ricardo Almeida. Rochas Ornamentais no Noroeste do Estado do Espírito Santo / Ricardo Gallart de Menezes e Paulo Ricardo Almeida Sampaio – Rio de Janeiro: CPRM, 2012. 52 p.

REVISTA INFOROCHAS. Disponível em: <<http://www.inforochas.com.br>>. Acesso em: 07 dez. 2015.
SARDOU FILHO, Ruben. Atlas de rochas ornamentais do estado do Espírito Santo / Ruben Sardou Filho ... [et al.]. – Brasília : CPRM, 2013.

DISPONIBILIDADE DE RESÍDUOS DE PEDREIRAS PARA APROVEITAMENTO NA PAVIMENTAÇÃO DA BR-101, NO ESPÍRITO SANTO

Hieres Vettorazzi da Silva¹, Nuria Fernandez Castro²

¹ Geólogo, Pesquisador PCI CETEM/NRES

² Eng. de Minas, Tecnologista Pleno CETEM/CATE

hvettorazzi@gmail.com

RESUMO

Os materiais utilizados na base e sub-base de um pavimento, geralmente constituídos por agregados e solos, devem apresentar boa resistência compressiva, baixa deformabilidade e serem suficientemente permeáveis, para cumprirem sua função de carregar os esforços compressivos do tráfego e o acúmulo de água sobre o revestimento sem que ocorram danos estruturais ao pavimento. Por outro lado, os resíduos acumulados nas pedreiras de rocha ornamental, ao longo de décadas de atividade, geram desconforto visual e representam um passivo ambiental que necessita de mitigação urgente. Esses materiais residuais da produção de blocos encontram-se estocados sob a forma de pontas de aterro, conhecidos vulgarmente como “bota-fora”, comumente tidos como rejeito, mas que na verdade devem ser considerados como “estoques remanescentes”, em vista das aplicações que cada tipo litológico pode ter, determinadas pela caracterização tecnológica somada a demandas mercadológicas regionais. Este projeto tem foco na sustentabilidade e visa, especificamente, à indicação do uso de resíduo grosso das lavras de rochas ornamentais do Estado do Espírito Santo, na base ou sub-base de pavimentos, sob a forma de Brita Graduada Simples (BGS). Este uso justifica-se, principalmente, pela possibilidade de absorção rápida dos volumes existentes nos depósitos, em função do aumento de demanda desse tipo de material diante dos investimentos crescentes em pavimentação no estado, desde que estejam em distâncias favoráveis. Portanto, o objetivo central deste trabalho é indicar quais depósitos de resíduos grossos das lavras existentes no estado do Espírito Santo poderão ser aproveitados na pavimentação da Rodovia Governador Mario Covas BR-101 que está em fase inicial. A etapa inicial do trabalho contou com o geoprocessamento em ambiente GIS (*Sistema de Informações Geográficas*) de informações, dados e imagens de diversos órgãos e instituições, que possibilitou a indicação de 72 alvos, frentes de lavra

de rochas ornamentais, potencialmente fornecedoras de resíduo, das quais, após reconhecimento em campo, apenas 23 mostraram-se com disponibilidade de aproveitamento. A segunda etapa, em andamento, consistiu na coleta de amostras nas frentes de lavra selecionadas e sua caracterização no Laboratório de Resíduos do Núcleo Regional do Espírito Santo do Centro de Tecnologia Mineral - NRES/CETEM/MCTI. As análises e ensaios pertinentes ainda estão sendo realizados e, por isso, não serão apresentados neste artigo, mas, ao que tudo indica, o aproveitamento de parte desses resíduos na base da pavimentação da BR-101 é viável técnica e economicamente.

PALAVRAS-CHAVE: resíduo grosso, agregado mineral, bota-fora.

ABSTRACT

Materials commonly used in base and subbase layers of pavements, usually aggregates and soil, must have, specifically, high compression strength, low deformability, and drainage capability to comply with the function to transfer compressive efforts generated by traffic and water accumulation above the pavement coating without occurring structural damages on the pavement. On the other hand, wastes of natural stones quarries, accumulated during decades of production, are visually uncomfortable and represent an environmental liability that needs urgent mitigation. These wastes are deposited within the quarries in piles so called "*bota-fora*" (throw away), and considered as wastes without any use, but that should be seen as "remaining stocks" due to the diverse uses that they can have depending on their characteristics and regional market demands. This project seeks to appoint the use of stones quarries wastes, in the State of Espírito Santo, as simple graded aggregate in pavements base or subbase, which can be justified by the high volumes that could be used, as the duplication of the 420 km of the BR-101 highway will require a high demand for aggregates during the next 10 years. So, the main goal of this research is to indicate which wastes deposits could be useful for the BR-101 highway paving, in that duplication works. In order to do so, a georeferenced map was first elaborated when 72 potential targets of study were identified, from which 23 were considered adequate as a function of the distance to the road and the identifiable volumes of wastes. A fieldwork was then carried out, collecting samples and more information about the quarries operations and deposits and now, characterization tests are being done in the Espírito Santo's Regional Unit of the Centre for Mineral Technology - NRES/CETEM residue laboratory. The analysis and relevant tests are still being carried out and therefore will not

be presented in this article, but everything indicates the feasibility of using stone quarries wastes as base materials for the BR-101 pavement.

KEYWORDS: coarse aggregate, dimension stone, sub-base.

1. INTRODUÇÃO

A lavra de rochas ornamentais é, caracteristicamente, causadora de impactos pontuais, mas significativos nos locais de operação, em sua maioria a céu aberto. Dentre os impactos mais relevantes, podemos citar a alteração topográfica com depreciação estética da paisagem e dispersão e sobrecarga de resíduos (OLIVEIRA, 2006). O principal resíduo gerado na lavra, por sua maior representatividade em volume, é o resíduo grosseiro, constituído de pedaços de rocha, proveniente das etapas de desmembramento das bancadas e recorte em blocos. De acordo às estimativas do CETEM, com base em dados em campo, em média, nas pedreiras de rochas ornamentais, apenas 20-25% do volume extraído é aproveitado sob a forma de blocos. Os resíduos grosseiros geralmente são estocados em pontas de aterro que se localizam próximas aos pátios de extração das pedreiras (Figura 1), e são compostos por rocha alterada do decapeamento, blocos de rocha de tamanhos decimétricos a métricos, fora de padrão ou, embora cada vez menos, blocos em dimensões comercializáveis, mas de padrão estético indesejável. Na maioria das ocasiões, encontram-se completamente soterrados por solo removido durante a abertura das frentes de lavra, inviabilizando seu uso em diversas aplicações que poderiam demandar grande volume, como por exemplo, na superfície de pavimentos asfálticos (VIDAL *et al.*, 2014).



Figura 1 – Bota-fora em pedreira no município de Aracruz-ES. Foto: CETEM/MCTI, 2015.

O tamanho do problema pode ser medido pelo volume de material residual existente nas pedreiras: só em 2014, teriam sido geradas quase 30 Mt de resíduo, considerando que nesse ano a produção de rochas ornamentais do país foi de 10,13 Mt (ABIROCHAS, 2014) com uma taxa de aproveitamento média, na extração, de 25%. Se considerarmos os resíduos acumulados por décadas de extração, o volume total existente hoje pode ultrapassar os 500 Mt.

No Brasil e no mundo a cada ano são desenvolvidas e descobertas novas alternativas em que o aproveitamento dos resíduos oriundos da mineração tem mostrado viabilidade tecnológica e ambiental. Porém, mesmo iniciativas já implementadas e que geraram ganhos estratégicos de mercado e de operação para as entidades envolvidas, mostram-se atualmente inviáveis sob o aspecto econômico, principalmente pela falta de implementação de planos de ordenamento territorial, decisivos para uma mobilização de investimentos com base em uma ampla percepção regional (CAMPOS *et al.*, 2007.).

Para regulamentar e instituir a gestão dos resíduos oriundos da mineração e de todas as atividades humanas, foi criada no Brasil na última década a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305/2010 que obriga à gestão adequada dos resíduos, instando à busca de soluções para seu aproveitamento ou reciclagem e orientando à deposição, embasada em argumentos técnicos ambientalmente plausíveis, quando comprovadamente for inviável sua utilização. Há diversas soluções, tecnicamente viáveis, para o aproveitamento dos resíduos da lavra de rochas ornamentais, pois se trata de rochas sem nenhum tipo de processamento, porém inviáveis econômica ou legalmente hoje. O ordenamento territorial seria a chave para se vencer essas barreiras, viabilizando, por exemplo, como indica Fernandes (2004) para o caso do resíduos reciclados de construção e demolição (RCD), consórcios locais com estoques de resíduo de interesse, que atendessem necessidades locais ou regionais de matéria prima, como indústrias cerâmicas, agricultura, polímeros, vidros e, principalmente, a construção civil, em substituição aos agregados utilizados na composição de argamassa, concretos a base de cimento Portland, betuminoso e misturas solo-brita utilizadas em bases de pavimentos. Essa última aplicação justifica-se pela capacidade de absorção de grandes quantidades de resíduos e, ainda mais, pelo baixo custo atual de investimento para instalação de plantas britagem e peneiramento móveis.

No Brasil, mais de 50% do total do volume de brita comercializado é destinado para a produção de concreto e 9% para pavimento asfáltico (ANEPAC, 2012). Dados de produção e consumo anuais estão desatualizados, mas conforme os sumários minerais do DNPM de 2013 e 2014, 268.098.000 t de brita e cascalho foram consumidos em 2011. No Espírito Santo, não existem

muitos dados de produção e consumo de agregados, mas segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2012) no estado, em 2011, foram consumidos 6.050.982 t de brita e cascalho. Embora estejamos diante de um cenário de crise e queda nos investimentos governamentais, há demanda de materiais rochosos granulares no Espírito Santo em projetos em andamento ou já anunciados como a pavimentação de rodovias estaduais, federais em regime de concessão, a construção de trilhos ferroviários e de diques de enrocadura de portos litorâneos. Especificamente na pavimentação, diversos materiais podem ser usados em substituição aos agregados naturais como: escórias de alto-forno, Resíduos de Construção e Demolição (RCD), misturas asfálticas fresadas e por último, resíduos de extração de rochas ornamentais. Experiências de aproveitamento desse tipo de resíduo na base de pavimentos em gnaisses miloníticos de Santo Antônio de Pádua - RJ (RIBEIRO, 2003) e em quartzitos de Pirenópolis – GO (CAMPOS, 2002), mostraram que a alternativa pode ser viável, necessitando apenas adequações de variáveis operacionais no processo de britagem para que os índices de forma mínimos desejáveis para tal aplicação sejam alcançados (BERNUCCI *et al.*, 2006 *apud* RUSSO, 2011).

Projetos de pavimentação rígida ou flexível contemplam uma delgada camada granular localizada abaixo dos níveis de revestimento, denominada base ou sub-base, a depender da necessidade do projeto. Sua função principal no controle de uniformização ao longo do pavimento, absorvendo as cargas e evitando assim mudanças indesejáveis de volumes das camadas adjacentes, causadas pelo excesso de água infiltrada ou de cargas do tráfego rodoviário (DNIT, 2006). Normalmente, a escolha do tipo de agregado e solo a ser utilizado em projetos de pavimentação deve satisfazer requisitos tecnológicos embasados em ensaios laboratoriais e práticos *in situ*, mas considerando, além dos fatores técnicos, a disponibilidade de jazidas e se estas apresentam interesse econômico logístico. Os materiais rochosos escolhidos devem apresentar comportamento tecnológico suficientemente resistente aos esforços cisalhantes verticais, responsáveis por transferir e distribuir as tensões para as camadas de sub-base sem que haja danos estruturais caso sejam utilizados em algum pavimento (BALBO, 2007). Por se tratarem de rochas de composição silicática e de alta cristalinidade, os resíduos das pedreiras capixabas, teoricamente, apresentariam bom potencial quanto a algum desses requisitos, como resistência a abrasão e massa específica, por exemplo.

Existem vários tipos de graduação utilizados para base de pavimentos. A norma NBR 12264:1991 define a Brita Graduada Simples (BGS) como sendo uma mistura em usina de produtos de britagem de rocha sã que, em proporções adequadas, resulta numa graduação contínua, que se

for corretamente compactada, gera produtos com estabilidade e durabilidade. Diferentemente dos pavimentos asfálticos e o concreto para os quais os agregados não podem estar contaminados com solo, a BGS é na verdade uma camada granular estabilizada por granulometria sem a adição de ligantes hidráulicos ou asfáltico, compactada apenas por efeitos compressivos que adensam as partículas constituintes, sendo composta principalmente por agregados minerais, solos ou a mistura dos dois componentes (BALBO, 2007). A necessidade alta de finos na composição do traço pode ainda ser uma rota alternativa de aproveitamento dos resíduos finos gerados durante o processamento dos blocos em chapas (RIBEIRO, 2003).

Geograficamente, o trecho da Rodovia BR-101 que atravessa o estado do Espírito Santo, do sentido sul para norte, discorre ao lado de grandes maciços com formato em pão-de-açúcar e pequenos morros em forma de meia laranja, compostos por rochas de composição silicática, variando o teor em sílica (SiO_2) entre tipos ácidos, intermediários e básicos. A variedade litológica regional e alta cristalinidade são remanescentes de uma raiz crustal profunda de uma cadeia montanhosa continental edificada no fim do neoproterozóico denominada Orógeno Araçuai, responsável por metamorfisar, deformar e fundir protólitos existentes, gerando então por granitogênese, a imensa parte das rochas extraídas para uso como revestimento. Marcantes feições estruturais no relevo preservam ao sul, o *trend* estrutural NNE proveniente da Faixa Ribeira localizada mais ao sul, nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo (PEDROSA-SOARES; CAMPOS, 2000 *apud* PEDROSA-SOARES *et al.*, 2007).

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é apresentar um mapa de potencialidades para aproveitamento de resíduos sólidos grosseiros, oriundos da lavra de rochas ornamentais, para a composição da base dos pavimentos rodoviários sob a forma de agregados minerais durante a pavimentação e duplicação programada da Rodovia Governador Mario Covas BR-101. Os objetivos específicos são: mapeamento, identificação e amostragem das frentes de lavra próximas à rodovia; caracterização tecnológica das amostras como agregado mineral para utilização em base de pavimentos rodoviários seguindo normas nacionais, internacionais e especificações internas da empresa concessionária da rodovia em questão; e por último, confecção de um mapa de potencialidades de aproveitamento dos resíduos que contenha quantificação de volumes, frentes de lavra em operação, distância para transporte e indicação de viabilidade tecnológica.

3. METODOLOGIA

O referencial bibliográfico utilizado neste trabalho pode ser dividido em duas partes: (a) a primeira, utilizada durante a etapa de geoprocessamento, baseou-se em publicações de mapas regionais, folhas em maiores escalas de detalhe, dados vetoriais e matriciais, relatórios, teses e dissertações; (b) a segunda, correspondeu à pesquisa de fontes de caracterização tecnológica de agregados minerais, e trabalhos sobre aproveitamento de resíduos na construção civil.

A primeira etapa serviu para a elaboração de um mapa georreferenciado para identificação e escolha dos locais de interesse para o trabalho. A seguir, foram definidos os parâmetros de exclusão, e elaborado o mapa de alvos potenciais em função do volume e estado de deposição ou soterramento dos resíduos rochosos e a distância do empreendimento de interesse à rodovia, considerando 25 km como limite para o aproveitamento.

Com o mapa de alvos potenciais, iniciou-se a etapa de campo, quando foram realizados os cadastramentos das mineradoras em operação, coletados dados da produção e operação da lavra, realizadas as estimativas de cubagem dos depósitos de resíduos e amostragem, nos casos de interesse, conforme especificado na norma NBR NM 26 (ABNT, 2009).

Parte das amostras coletadas foram caracterizadas no laboratório de Pavimentos da COPPE-UFRJ enquanto que as demais estão em etapa de caracterização para uso na base de pavimentos rodoviários no Laboratório de Resíduos do CETEM/NRES em Cachoeiro de Itapemirim.

Por estarem em andamento os resultados parciais não são agora apresentados, mas a maioria das amostras caracterizadas atendem os requisitos mecânicos mínimos para seu uso na base da rodovia BR-101.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao final da etapa de geoprocessamento, identificou-se que existem próximas aos limites laterais da Rodovia BR-101 nos trechos sul e norte, um número total de 61 pedreiras que operaram ou estão em atividade. Destas, 23 encontram-se operando, sendo que no trecho sul 12 estariam aptas, pela quantidade, forma de deposição e interesse dos proprietários, ao aproveitamento dos resíduos nos municípios de Mimoso do Sul, Cachoeiro de Itapemirim, Rio Novo do Sul e Iconha, enquanto que no trecho norte, 11 estariam aptas, nos municípios de João Neiva, Aracruz e Colatina.

Mais ao norte, as principais pedreiras encontram-se a maiores distâncias da rodovia o que pode inviabilizar sua utilização neste caso pelo custo do transporte.

Ao Sul, o trecho da rodovia desde a divisa com o Estado do Rio de Janeiro em direção a Vitória, em sentido NNW, discorre entre afloramentos de gnaisses migmatíticos e kinzigitos do embasamento cristalino transamazônico, antigamente denominado Complexo Paraíba do Sul e hoje desmembrado em Grupos São Fidélis e Italva, destacados em rosa (Figura 2); granitóides cinzentos e claros ortoderivados pré-colisionais do tipo-I destacados com a legenda azul; granitóides sin-colisionais tipo-S, em cor branca na figura, e por fim os granitóides pós-colisionais tipo-I de *plútons* zonados bimodais compostos por granitos cinzentos, dioritos, noritos e gabros (SALINO, 2013), destacados pelas legendas cinzentas do mapa elaborado. No Norte do estado, a partir de Vitória, as exposições rochosas dominantes na região são de gnaisses e anatexitos pré-colisionais do Grupo Nova Venécia, sendo encontrados também leucogranitóides sin-colisionais do tipo-S da suíte Ataléia; charnockitos, granitos, dioritos, pequenos corpos gabróicos e piroxenitos pós-colisionais da Suíte Espírito Santo (SALINO, 2013).

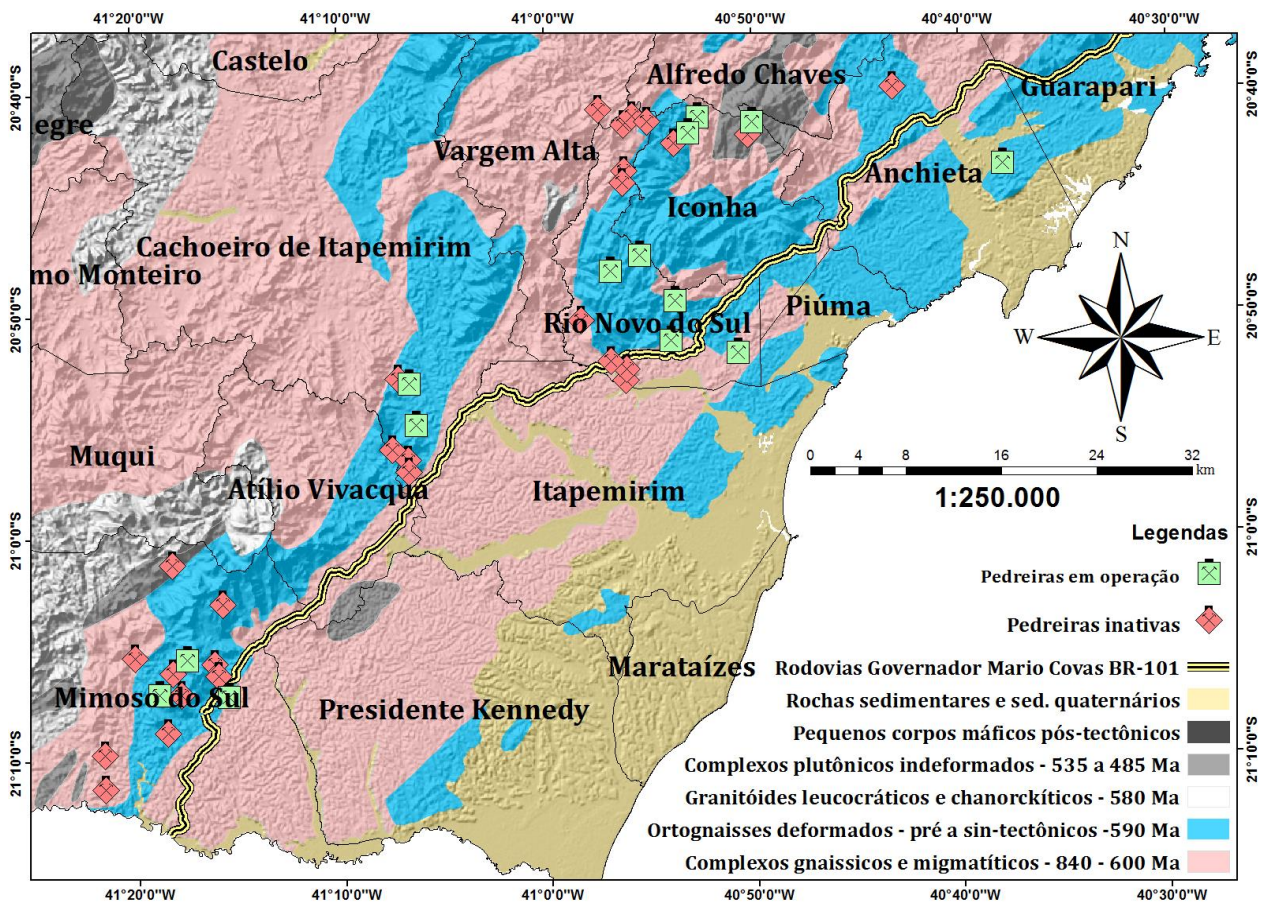


Figura 2 – Mapa 1:250.000 de unidades geotectônicas com ocorrência de lavras, em operação ou não, próximas ao trecho sul da Rodovia Governador Mario Covas BR-101. Elaboração: Hieres Vettorazzi, 2015.

No Leste, a partir da divisa entre os limites administrativos dos municípios de João Neiva, Aracruz, Linhares e Colatina, a exposição das rochas sedimentares Grupo Barreiras (Figura 3) inviabiliza a lavra de rochas ornamentais, ficando estas na região noroeste, inviabilizando a utilização de seus resíduos para este trabalho, como já indicado, por estarem longínquas da rodovia. No entanto, podem ser utilizados para as rodovias regionais e locais, motivo pelo qual também serão estudadas no âmbito desta pesquisa. Os tipos litológicos extraídos no Sul são mais variados que os do norte do estado, destacando a extração de granitóides mesocráticos finos comercialmente chamados de “Cinza Andorinha, Cinza Nobre, Cinza St^a Eosa, Cinza Mundo Novo e Prata Imperial” que ao total são extraídos em 9 pedreiras, dois kinzigitos ou gnaisses migmatíticos “Juparanã Ouro Negro e Blue Fantasy”, um gnaisse migmatítico leucocrático comercialmente chamado de “Romanix”, e por fim, um gabro chamado “Gold Black”.

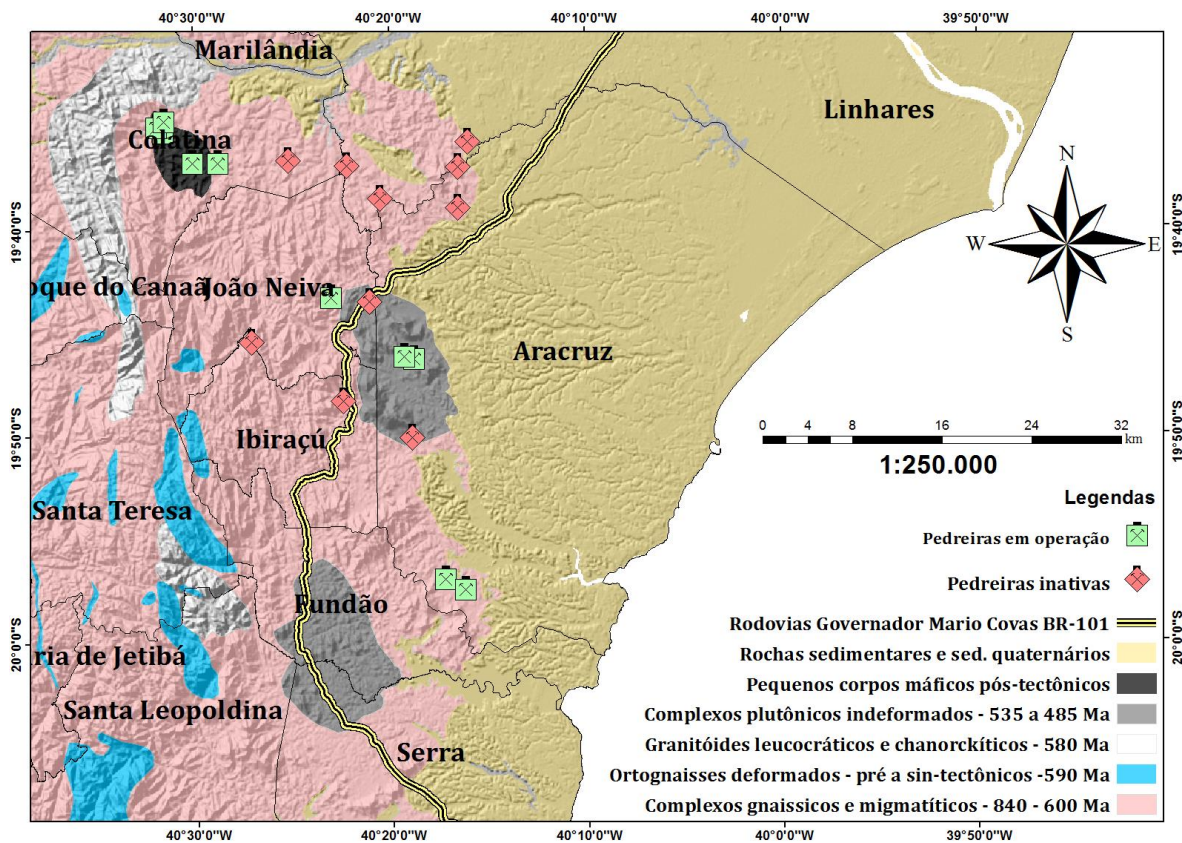


Figura 3 - Mapa 1:250.000 de unidades geotectônicas estaduais com ocorrência de lavras, em operação ou não, próximas ao trecho norte da Rod. Gov. Mario Covas BR-101. Elaboração: Hieres Vettorazzi, 2015

No Norte o número de ocorrências de atividades mineiras é menor, porém de volume residual muito superior as demais sulinas. Ao total, somam-se aproximadamente 2,9 Mt de resíduo grosso inaproveitados (Tabela 1). Mesmo estando a uma distância superior aos 25 km estipulados, existe no distrito de Baunilha em Colatina uma concentração de 4 pedreiras.

Tabela 1. Tabela de empresas, materiais extraídos, volume de resíduo em estoque, distância e município com potencialidade de aproveitamento dos resíduos na pavimentação da BR-101.

Empresa	Designação Comercial	Tipo Litológico	Volume (m ³)	Distância BR-101 (km)	Município
SDD Mineração	Cinza Andorinha	Granitóide mesocrático	150.000	< 1	Mimoso do Sul
Kamigran	Cinza Andorinha	Granitóide mesocrático	50.000	4	Mimoso do Sul
Gavigran	Cinza Santa Rosa	Granitóide mesocrático	45.000	11	Mimoso do Sul
Ricamar	Cinza Andorinha	Granitóide mesocrático	80.000	6	Cachoeiro de Itapemirim
TG Mineração	Cinza Andorinha	Granitóide mesocrático	45.000	4	Cachoeiro de Itapemirim
Mineração Pedra do Frade	Cinza Nobre	Granitóide mesocrático foliado	35.000	10	Rio Novo do Sul
SamGranitos	Romanix	Gnaiss migmatítico	40.000	7	Rio Novo do Sul
Mineração Irmãos Castellari	Cinza Mundo Novo	Granito mesocrático	125.000	13	Rio Novo do Sul
Calvigran	Juparanã Ouro Negro	Gnaiss migmatítico – kinzigito	25.000	2	Rio Novo do Sul
Mineração Andrade	Blue Fantasy	Gnaiss migmatítico – kinzigito	30.000	7	Rio Novo do Sul
Mineração São José	Cinza Nobre	Granito mesocrático porfirítico	225.000	22	Iconha
Mineração Mameri	Gold Black	Diorito/gabro	50.000	19	Iconha
Mineração Mameri	Prata Imperial	Granitóide mesoleucocrático foliado	65.000	17	Iconha
GranRochas	Preto Aracruz	norito	160.000	14	Aracruz
Cajugran	Preto Aracruz	norito foliado	120.000	18	Aracruz
Gransal	Preto Brilhante	norito	300.000	9	Aracruz
Imetame	Preto Brilhante	norito	250.000	9	Aracruz
Três Irmãos Granitos	Branco Romano	Gnaiss leucocrático migmatizado	100.000	4	João Neiva
Terralatina	Preto São Gabriel	Norito	90.000	32	Colatina
Granicap	Preto São Gabriel	Norito	600.000	32	Colatina
Marbrasa Mineração	Preto São Gabriel	Norito	1.000.000	29	Colatina
MRB – Mineração Rio Baunilha	Preto São Gabriel	Norito	300.000	32	Colatina
GranFort	Preto São Gabriel	Norito	550.000	31	Colatina

5. CONCLUSÃO

Conclui-se a partir dos resultados alcançados que o aproveitamento dos resíduos das pedreiras na base de pavimentos pode ser uma alternativa sustentável ao depósito desordenado e viável para a maior parte do trecho da BR-101 que atravessa o estado do Espírito Santo, principalmente em regiões onde a concentração de frentes de lavra é maior. A viabilidade tecnológica ainda não foi totalmente comprovada para todos os materiais extraídos, mas, considerando os requisitos comumente exigidos para agregados de base de pavimentos, e pelos resultados que já estão sendo obtidos para alguns deles, espera-se que a maioria possa ser usada. Uma vez finalizado o mapa de disponibilidade, aqui proposto, será apresentado à empresa que detém a concessão da rodovia.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. Abirochas em notícia – ABINEWS – Bela Vista – SP, Jan/Mar 2015. Disponível em: <http://issuu.com/abirochas/docs/abirochas_em_noticia_1> Acesso em: 20 fev. 2016.

ALKMIM, F.F.; MARSHAK, S.; PEDROSA-SOARES, A.C.; PERES, G.G.; CRUZ, S.C.P.; WHITTINGTON. Kinematic evolution of the Araçuaí-West Congo orogen in Brazil and Africa: Nutcracker tectonics during the neoproterozoic assembly of Gondwana. *Precambrian Research*, v.149, p.43-63, 2006.

ANEPAC – Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção. Anuário ANEPAC 2012. Disponível em: <http://anepac.org.br/wp/agregados/> Acesso em 09 de fev. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2009). NBR NM 26. Agregados – Amostragem. Rio de Janeiro. 6p

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica – Materiais, projeto e restauração**. 1 ed. São Paulo, Brasil: Oficina de Textos, 2007, 558p.

BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. **Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros**. 3ª Reimpressão. Rio de Janeiro, Brasil: PETROBRAS ABEDA, 2010, 504p.

CAMPOS, E.E; FRAZÃO, E.B; CALAES, G.D; HERRMANN, H. Org.: Tannús, M.B.; Do Carmo, J.C.C; Agregados para a construção civil no Brasil: contribuições para formulação de políticas públicas. – Belo Horizonte: CETEC, 2007.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Pavimentação**. Publicação IPR -179. 3ª ed. Rio de Janeiro, Brasil. 2006. 274p.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral 2014**. 141p. ISSN 0101-2053

FERNANDES, C. G. **Caracterização Mecânica de Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição dos Municípios do Rio de Janeiro e de Belo Horizonte para uso em Pavimentação**. 2004. 109p. Tese (Doutorado) – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro (Brasil).

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. Informações e análises da economia mineral brasileira. 7ª Ed. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/> Acesso em 09 de fev. 2016.

OLIVEIRA, E. M. **Impacto Ambiental na Exploração de Pedreiras. Contribuição para uma prática sustentável**. 2006. 127p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto (Portugal).

PEDROSA-SOARES, A.C.; NOCE, C.M.; ALCKMIM, F.F.; SILVA, L.C.; BABINSKI, M.; CORDANI, U.; Castañeda, C. Orógeno Araçuaí: Síntese do conhecimento 30 anos após Almeida 1977. *Geonomos*, v.15, No. 1, p.1-16, 2007.

RIBEIRO, R.C.C. **Interação entre Cimentos Asfálticos e seus Constituintes com Agregados Mineraiis na Formação do Asfalto**. 2003. 111p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (Brasil).

RUSSO, M.L.C. **Reciclagem de Resíduo Gerado na Extração de Quartzito**. 2011. 171p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (Brasil).

SALINO, V. S. **Significado do Grupo Rio Doce no Contexto do Orógeno Araçuaí**. 2013. 117p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Geologia – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (Brasil).

VIDAL, F.W.H.; AZEVEDO, H.C.A.; CASTRO, N.F. **Tecnologia de Rochas Ornamentais – Pesquisa, Lavra e Beneficiamento**. 1.ed. Rio de Janeiro, Brasil: CETEM/MCTI, 2013. 700p.

APROVEITAMENTO DOS REJEITOS GERADOS NA EXTRAÇÃO MINERAL E NO BENEFICIAMENTO DAS MINAS PARA ORNAMENTAÇÃO E PAISAGISMO

Romário Silva Freire¹, Max Medeiros Júnior², Marcondes Mendes de Souza³

¹ Estudante, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

² Estudante, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

³ Professor Dr, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

E-mail romariofreire@hotmail.com

RESUMO

Um dos grandes desafios da mineração é obter uma boa produção conciliando com os gastos excessivos. A quantidade de rejeitos gerada no processo da lavra e beneficiamento é muito elevada, causando impactos ao meio ambiente devido a seu descarte sem nenhum planejamento. Este trabalho objetiva o reaproveitamento dos resíduos gerados tanto na lavra quanto no beneficiamento de mineradoras a partir dos rejeitos das rochas provenientes da região Seridó do estado do Rio Grande do Norte, municípios como Currais Novos, Parelhas, Equador que possui empresas na área da mineração e não reaproveitam esses resíduos como um subproduto, minerais como o quartzo pode ser britado em uma granulometria cascalho a areia grossa e ser comercializado para ornamentação de jardins, aquários, entre outros, assim como na região de Currais Novos, onde fica uma das maiores minas de sheelita do País, utilizando-o a calcita muito encontrada nos rejeitos, esses minerais e rochas provenientes da atividade da mineração possui uma viabilidade econômica bem rentável. Muitos desses materiais necessitam apenas de um processo simples de britagem e peneiramento. Devido à variedade de cores e características físicas dos materiais provenientes das empresas foi feito uma pesquisa de mercado em sites e empresas do ramo paisagístico e ornamentação, objetivo de reproduzir e mostrar a factibilidade de se reduzir os rejeitos de uma forma simples e estética, agregando um subproduto de uma forma sustentável.

Palavras-chave: paisagismo, potencial mineral, ornamentação.

ABSTRACT

One of the great challenges of mining is to get a good production combining with overspending. The amount of waste generated in the process of mining and processing is very high, causing impacts to the environment due to its disposal without any planning. This work aims at the reuse of waste generated both in mining and in the processing of mining from the waste of rocks from the Seridó region of Rio Grande do Norte, municipalities as Currais Novos, Parelhas, Ecuador which owns companies in the mining area and not recycles such waste as a by-product minerals such as quartz can be crushed on a gravel to coarse sand and be sold for ornamental gardens, aquariums, etc., as well as in the region of Currais Novos, which is one of the largest mines sheelita the country, using the very calcite found in the waste, these minerals and rocks from the mining activity has a very profitable economic viability. Many of these materials require only a simple crushing and screening process. Due to the variety of colors and physical characteristics of the materials from companies market research was done on websites and companies of the landscape industry and ornamentation, aim to reproduce and show the feasibility of reducing the waste in a simple and aesthetic form, by adding a by-product in a sustainable manner.

Keywords: landscaping, mineral potential, ornamentation.

1. INTRODUÇÃO

O potencial mineral existente no estado do Rio Grande do Norte é de extrema importância para a economia do Estado, em décadas passada a mineração teve um papel importante na economia do Rio Grande do Norte, foi revelada na década de 1940, durante a Segunda Guerra Mundial, quando se descobriram, na região, substâncias minerais de uso na fabricação de artefatos bélicos. Dentre os principais bens minerais potenciais, principalmente na região Seridó do Rio Grande do Norte.

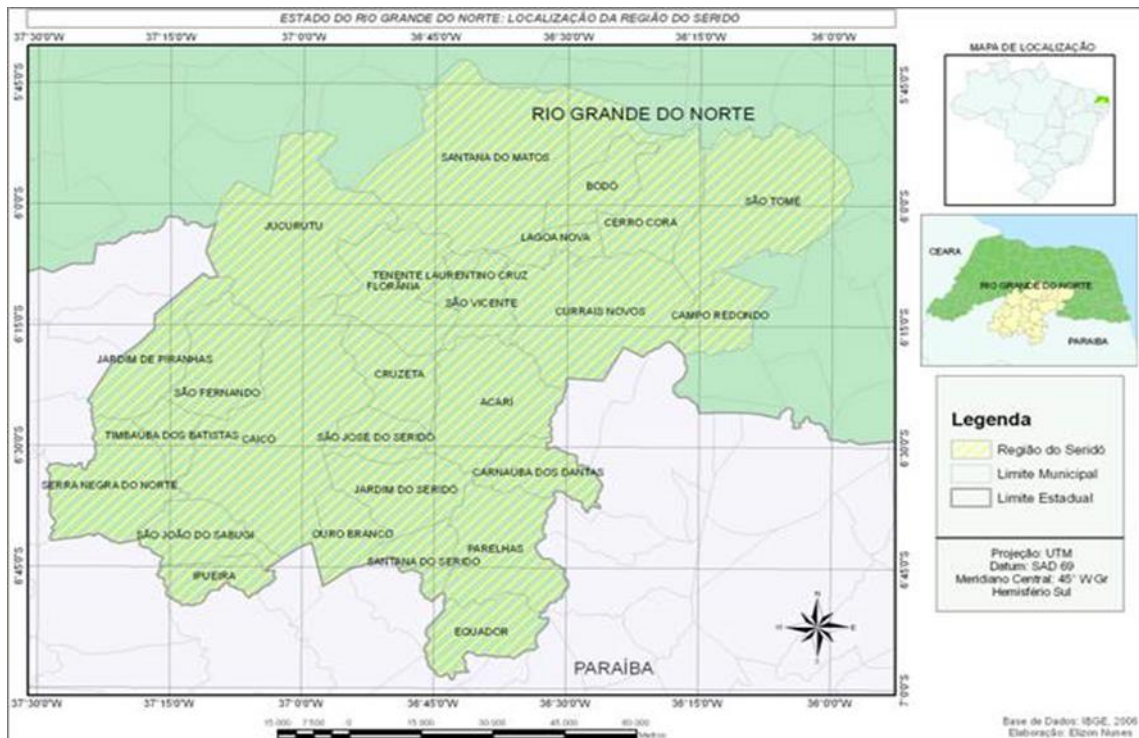


Figura 1. Mapa da região do Seridó, Rio Grande do Norte, Brasil.

A quantidade de rejeitos gerada no processo de beneficiamento de rochas ornamentais é muito elevada, causando impactos ao meio ambiente devido a seu descarte sem nenhum planejamento, sendo uma problemática não só nacional quanto mundial (Pfaltzgraff, 2005). Tais problemáticas geradas podem ser mitigadas utilizando resíduos e rejeitos da extração mineral. O setor mineral do Seridó potiguar cresceu bastante nos últimos anos, motivando a instalação de diversas empresas mineradoras nesta Região.

Considera-se a região como de grande importância para exploração mineral, em virtude da sua formação geológica com embasamento cristalino, grande extensão territorial ocupada pela atividade e a grande diversidade de produtos minerais disponíveis. A partir dos rejeitos das rochas provenientes da região do Seridó potiguar. Dentre os principais bens minerais potenciais e em exploração no Estado destacam-se as águas minerais, as gemas (água marinha, ametista, esmeralda, turmalina, quartzo róseo, etc.); metais nobres (ouro); os metais ferrosos (ferro, molibdênio e tungstênio/sheelita); os metais não ferrosos e semimetais (berilo, tantalita-columbita, lítio/ambligonita e espodumínio, etc.); os materiais de uso na construção civil (areia, argila, cascalho, pedra britada, rocha ornamental e pedra de cantaria); as rochas e minerais industriais (amianto, barita, caulim, diatomita, feldspato, gipsita, mica, quartzo, rochas carbonáticas, sal marinho, etc.).

Assim como o seu potencial mineral o Rio Grande do Norte também possui um grande potencial turístico, sendo essa atividade uma das mais forte nas regiões do litoral potiguar, O Litoral Oriental, de direção Norte-Sul, e o Litoral Setentrional, de direção Leste-Oeste. Geomorfologicamente, a planície, os tabuleiros costeiros, rochas praias e os campos de dunas são os elementos de relevo predominantes em todo o litoral. Há aquelas praias que se destacam como Ponta Negra que fica no Município de Natal e a praia da Pipa situada no município de Tibau do Sul. Tais atividades podem correlaciona-se através do paisagismo e ornamentação que é muito utilizado nas redes hoteleiras, é um atrativo a mais além das belezas naturais existentes nas regiões, sem contar com os comércios de vendas de artesanato, muitos minerais são deixados de lado nas minas, como sendo rejeito, assim como os blocos e fragmentos de rochas ornamentais que se excluem no beneficiamento.

A viabilidade do aproveitamento de parte desses rejeitos, aplicando-os em projetos paisagísticos, os rejeitos utilizados foram coletados em diferentes empresas de beneficiamento de rochas ornamentais, visando a diminuição do custo, os rejeitos grossos em peças ornamentais (anticatos, seixos ornamentais, partículas para decoração de jardins, vasos, etc.), em produtos de maior valor agregado. A possibilidade de uso dos rejeitos grossos seria na produção de seixos ornamentais. Os seixos ornamentais são utilizados como alternativa aos seixos rolados obtidos normalmente em rios. Caracterizam-se por serem bastante duros e resistentes e sua utilização se dá em jardins, muros e ornamentação de paredes. No mercado, há somente a presença de seixos de cor branca, oriundos do beneficiamento de mármore. A disponibilidade de seixos de diferentes tamanhos, cores e formas, ampliará as opções de decoração por parte dos paisagistas e decoradores.

Além das regiões turísticas o mercado virtual traz possibilidades de expansão dos produtos, (para aqueles que colecionam minerais, utilização na ornamentação de aquários, jardins residenciais e etc.). Além dos ganhos materiais da redução de resíduos de rochas ornamentais e a melhoria da qualidade do espaço. A aquisição desses meios de produção como produtos secundários na extração mineral, pode-se gerar uma renda extra para as empresas, utilizando parcerias com empresas do ramo de paisagismo e ornamentação, sites de venda de produtos deste seguimento para uma maior viabilidade.

1. OBJETIVOS:

1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo potencializar os meios de produção mineral, agregando outras formas de aproveitamento de rejeitos e cortes de rochas ornamentais descartadas no processo de extração e no beneficiamento.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

A princípio, em grande parte da região Seridó produz uma grande gama de rochas e minerais para o mercado externo e interno, mas há aqueles pequenos produtores que através de garimpos possuem uma demanda de mercado inferior em relação as grandes empresas de mineração da região.

Muitos desses municípios em algumas áreas possuem um índice de pobreza elevado por diversas condições, uma dessas condições são as climáticas, oriundas na região semiárida do país, muitos rios do semiárido são intermitentes e possuem uma grande quantidade de seixos. A possibilidade de uso dos rejeitos grossos seria na produção de seixos ornamentais. Os seixos ornamentais são utilizados como alternativa aos seixos rolados obtidos normalmente em rios. Caracterizam-se por serem bastante duros e resistentes e sua utilização se dá em jardins, muros e ornamentação de paredes, possibilitando uma renda extra.

Outros objetivos é unir parcerias de produtores minerais e profissionais do ramo do paisagismo e ornamentação, e divulgação em sites para potencializar a venda, para bordas, decorações de piscinas, painéis, paredes, quadros, fachadas de prédios etc.

2. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO (OU METODOLOGIA)

A ideia de trabalho surgiu em diversas visitas de campo pela região Seridó do Rio Grande do Norte, as variedades minerais existentes no estado podem contribuir ainda mais somando-se ao mercado de paisagismo e ornamentação.

Pesquisando em site de venda os minerais e rochas que são encontrados na região seridoense potiguar, catalogando-os e definindo as suas melhores aplicações no mercado, propondo tais possibilidades para o produtor mineral e os garimpeiros uma nova alternativa de mercado.

Pedras decorativas naturais - são aquelas utilizadas sem polimento, conservando o seu aspecto natural. Entre suas particularidades, a maior é a grande resistência às intempéries, daí o

fato de serem escolhidas para o revestimento de áreas externas, como fachadas, beiras de piscina e composições de paisagismo. Seixo rolado (cascalho) bastante duro e resistente, tem formas arredondadas devido ao movimento das águas dos rios, de onde é retirado. Aquece pouco e sua utilização se dá em jardins, muros e ornamentação de paredes.



Figura 2. Imagem da utilização de rochas em estado bruto, Pousada Toca da Coruja Praia de pipa. Tibau do Sul/RN.

As minas geralmente possuem o seu produto principal e aplicam métodos de extração e beneficiamento para o cujo RMI (Rochas e minerais industriais). As vezes ocorre de a jazida apresentar um subproduto porem a planta de beneficiamento não comporta outro produto, a utilização de rochas e minerais para ornamentação e paisagismo utiliza de forma bruta naturalmente encontrado na natureza. Rochas de contes de pedreiras, como o granito, quartzito, a presença de quartzo, calcita, turmalina nas minas e entre outros viabilizam a produção mineral.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados adquiridos através de visitas de campo nas regiões citadas, pesquisas bibliográficas e em site de compra. Além da possibilidade de gerar subprodutos e renda extra para atividades garimpeiras, dentre as várias formas de redução dos impactos ambientais causados

pela geração de grandes volumes de resíduos a solução que apresenta maior vantagem é a reciclagem. Esse estudo apresenta resultados obtidos referentes ornamentações e paisagismo. Alguns dos resultados da pesquisa em site de compra de minerais provenientes da região Seridó potiguar em seu estado natural bruto, mostram-se na tabela 1.

Tabela 1. Valores de minerais pesquisado em site de compra.

Minerais bruto	Valor em reais por kg
Calcita laranja	27,50
Turmalina preta	21,00
Quartzo Cristal Branco Leitoso Qualidade Comum	11,00
Granada Em Bruto	90,00
Quartzo Rosa Em Bruto	30,00
Moscovita	20,00
Amazonita Bege/feldspato Natural Bruto	120,00

<http://lista.mercadolivre.com.br/> acesso: as 14:33 em 13/03/2015.

A maioria desses minerais encontrado no site não estavam com localidade de venda no Nordeste do Brasil e muito menos no estado do Rio Grande do Norte, isso mostra que essa atividade é pouco explorada na nossa região, mas que possui um grande potencial e rentabilidade.

4. CONCLUSÕES

O aproveitamento dos rejeitos gerado na extração mineral e no beneficiamento das minas para ornamentação e paisagismo é uma possibilidade a mais de melhoria e viabilização da produção mineral. O trabalho realizado até o momento identificou a possibilidade de reduzir a quantidade de rejeitos do beneficiamento de rochas ornamentais, a importância de saber onde e como estão sendo tratados os rejeitos no cenário atual brasileiro, assim como a situação econômica nacional, trazer novas possibilidades e rentabilidade e inovação para o seguimento mineral. Se, para esse fim, são empregados materiais até então considerados como rejeitos, junta-se o útil ao agradável, diminuindo um problema ambiental e valorizando o projeto arquitetônico e sua finalidade parcerias com o setor mineral e arquitetônico paisagístico.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADUSUMILLI, M. S. et al. Precious elbaïtes from Fazenda Capoeira pegmatite, NE Brazil. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 15, Natal, 1993. **Atas. Natal: SBG. N°- cleo Nordeste**, 1993. 382p. (Boletim do N°- cleo Nordeste da SBG, 13) p.142-144.

ANGELIM.L.A.A et. al. CPRM-Serviço Geológico do Brasil, **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte**, Recife-PE, 2006.

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL – CETEM/ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS – ABIROCHAS. **Rochas Ornamentais no Século XXI**: bases para uma política de desenvolvimento sustentado das exportações brasileiras. **Rio de Janeiro: ABIROCHAS**, 2001, 160p.

CHIODI FILHO, C. Situação e Perspectivas Brasileiras no Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimento. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTIS, 1.; SEMINARIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE , 2, 2001 Salvador. **Anais. Rio de Janeiro: CETEM; SGM**, 2001.

CHIODI FILHO, C. Situação e Perspectivas Brasileiras no Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimento no Brasil. **Fortaleza: ABIROCHAS, 2003. 30 p (Relatório Técnico)**, CE.

Frangella, Lydia Norina M; Castro Nuria Fernández. Aproveitamento de rejeitos gerados no beneficiamento de rochas ornamentais. **XV Jornada de Iniciação Científica – CETEM**.

<http://lista.mercadolivre.com.br/> acesso: as 14:33 em 13/03/2015.

PFALTZGRAFF, P. A. S. Impacto Ambiental na Lavra de Rochas Ornamentais. **1º CONGRESSO INTERNACIONAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 2005, Guarapari, Brasil**.

APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DA MINERAÇÃO E BENEFICIAMENTO DE ARDÓSIA

*Luciana B. Palhares¹, Claudio G. dos Santos*²

¹ Professora Dedicção Exclusiva - CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS.

Departamento de Engenharia de Materiais.

Av. Amazonas, 5253, Nova Suíça – Belo Horizonte – MG (Brasil)

² Professor Dedicção Exclusiva - UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO.

Departamento de Química. Campus Morro do Cruzeiro. Ouro Preto – MG (Brasil)

lbpalhares@hotmail.com

RESUMO

Nas indústrias de extração de ardósia as atividades de mineração e beneficiamento da rocha, até o processamento dos produtos finais, geram uma grande quantidade de rejeitos (~75% da rocha extraída). O sistema de extração de blocos para a produção de placas, pisos e telhados gera um resíduo, sob a forma de lascas, pó ou lama composta principalmente de água, lubrificantes e ardósia. Este resíduo sem destino definido acumula em aterros, reservatórios e próximo a leito de rios, trazendo como consequência, problemas técnicos, econômicos, ambientais e sociais. Devido as propriedades físicas e químicas da ardósia, os resíduos gerados tem grandes perspectivas de valorização, reciclagem e diferentes aplicações. No presente trabalho são mostradas quatro diferentes aplicações para o resíduo de ardósia. Na primeira aplicação foram produzidos tijolos cerâmicos por extrusão. A inserção de até 20% do resíduo mostrou um ganho de resistência de 21% nos tijolos e valores de absorção de água dentro das normas exigidas para comercialização. A segunda aplicação envolveu a produção de corpos de prova de concreto onde a adição de até 15% de material apresentou aumento de resistência aos 28 dias de rompimento, em relação ao concreto de referência, de 38%. Na terceira aplicação, peças cerâmicas foram produzidas pela técnica de colagem de barbotinas. Devido ao caráter não plástico da ardósia, as suspensões foram preparadas utilizando uma argila com alto poder de coesão e o resíduo. Peças foram obtidas com propriedades mecânicas a verde suficiente para a queima através de misturas contendo entre 60 e 70% de resíduo de ardósia. A última aplicação foi a produção de um compósito ardósia/resina

contendo em média 75% do pó e prensado com cargas de até 40KN. Os resultados mostraram que a rocha artificial apresenta resistência mecânica entre 50 e 78MPa e absorção de água menor do que 1%. Os trabalhos desenvolvidos mostraram que um controle do processo e da granulometria dos resíduos, o pó de ardósia mostra-se promissor para emprego em cerâmica, concreto e novos materiais.

PALAVRAS-CHAVE: recuperação de resíduos, ardósia, processamento cerâmico.

ABSTRACT

The system of slate extracting blocks and its final machining operations generate a large amount of waste (~ 75% of the extracted rock). The plate extraction system generates a significant amount of waste in the form of a sludge composed mainly of water, lubricants and crushed rock. This waste with no defined destination accumulates in yards, reservoirs and streams, affecting the ecosystems causing technical, economic, environmental and social problems. Due the physical and chemical properties of slate, the waste has great potential for recovery and recycling. In this paper are shown four different applications for the slate waste. In the first application ceramic bricks were produced by extrusion. The inclusion up to 20% of the waste showed higher mechanical strength in 21% comparing to referential bricks and water absorption values according to standardization to commercialization. The second application was the production of concrete with slate additions. The addition of 15% showed that mechanical strength increased 38% compared to the reference concrete. In the third application, ceramic pieces were produced by slip casting technique. Due to no plasticity of slate, the suspensions were prepared using clay to improve the cohesion among particles. Pieces were obtained with green mechanical properties for burning using mixtures containing between 60 and 70% of slate waste. The last application was the production of a composite slate / resin containing on average 75% of the powder and compressed with loads close to 40KN. The results showed that the artificial rock has compression mechanical strength between 50 and 78MPa and water absorption lower than 1%. The works here developed has shown that all processing used need a control of slate particle size and others properties. The slate powder is promising for use in ceramic, concrete and new materials.

KEYWORDS: wastes recovery, slate, ceramic processing.

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos de ardósia na forma de pó que resultam da extração, corte e beneficiamento da rocha tem um impacto significativo e sério nos ecossistemas próximos as minas. O processamento desses pós por diferentes técnicas, como prensagem, extrusão ou colagem, pode ser a solução para a recuperação e reciclagem dos resíduos gerados ou minimização dos efeitos causados ao meio ambiente.

Segundo Vidal (2003), os materiais rochosos tem sua utilização datadas de 500 a.c. e inicialmente a exploração se dava apenas nas superfícies mas, com o surgimento de novas necessidades, iniciou-se o processo de mineração no subsolo levando ao surgimento de lavras em forma de cavas à céu aberto e subterrâneas. Devido a tecnologias inadequadas de extração e qualidade dos produtos, não demorou muito para se verificar as explorações desordenadas dos recursos minerais, provocando elevados acúmulos de resíduos depositados a céu aberto (Figura 1).



Figura 1 – Rejeitos depositados próximo às minas de extração de ardósia em Pompéu - MG (Fonte dos autores)

O principal foco de extração e beneficiamento de ardósias em Minas Gerais é o município de Papagaios (60% da produção total), com ardósias cinzentas (na maior parte). As jazidas são lavradas a céu aberto, em encosta e em cava. As cavas têm piso regular e normalmente plano devido à clivagem horizontalizada (Chiodi Filho e Chiodi, 2014).

Foram registradas pelo estudo realizado por Chiodi Filho e Chiodi (2014) 137 pilhas de botafora, onde se acumulam quase 100 milhões de toneladas de rejeitos mineiro-industriais.

A produção de materiais alternativos tendo como constituintes os resíduos gerados nas indústrias de transformação de rochas, pode diminuir ou até mesmo eliminar a poluição nas áreas de extração, além de promover o aparecimento de novas oportunidades de trabalhos e renda imprescindíveis ao processo e desenvolvimento do país. Aqui vale ressaltar o apelo ambiental indescritível devido ao uso de materiais classificados como resíduos, gerados em grandes quantidades, sendo transformados em matéria prima para outros processos podendo diminuir os gastos com descarte dos resíduos, gerar renda para as empresas e atender as exigências das leis ambientais.

O presente trabalho tem como objetivo mostrar possíveis alternativas de aproveitamento dos resíduos de extração e beneficiamento de ardósia.

2. APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE ARDÓSIA

2.1 Caracterização do resíduo de pó de ardósia

O resíduo de ardósia utilizado foi gerado no processo de extração e beneficiamento da rocha na empresa Micapel Slate em Pompéu – MG.

Os resíduos foram previamente tratados antes da caracterização e utilização visando a retirada de impurezas e contaminações. As etapas deste tratamento foram: secagem à 120°C e peneiramento a seco na peneira de 2 mm. Nos testes de produção de peças cerâmicas por colagem de barbotinas foi feito um peneiramento a úmido na peneira de #400 mesh e em seguida o pó foi seco em estufa na mesma temperatura.

Os testes de análise térmica mostraram as transições sofridas pela ardósia quanto em processo de aquecimento sendo as principais: 250°C e 350°C, a perda de água livre absorvida e a água quimicamente ligada, respectivamente. À 550°C a dehidroxilação do clinocloro e muscovita e/ou a transformação alotrópica do quartzo, e a 890°C a destruição dos retículos cristalinos dos minerais muscovita e clinocloro. Associado a essas transformações observa-se uma perda de massa total de aproximadamente 8%.

O difratograma obtido permitiu a identificação dos minerais presentes na ardósia: quartzo, muscovita, clinocloro, feldspatos, hematita entre outros e juntamente com a análise química, a avaliação quantitativa dos mesmos, com valores de 37,1% de quartzo, 22,4% de muscovita, 19,4% de feldspatos, 11% de clinocloro e outros constituintes em menores quantidades.

2.2 Produção de tijolos cerâmicos via extrusão

Os tijolos cerâmicos foram produzidos em uma extrusora na Empresa Tijolos Jacarandá, com sede em Ribeirão das Neves – MG.



Figura 2 – Extrusora utilizada no processo (A) e os tijolos sendo cortados(B) (Fonte dos autores)

Foram produzidas pastas dos pós de ardósia e argila conforme a Tabela 1. Depois de formada a massa cerâmica, as pastas foram moldadas em uma extrusora. Posteriormente, os blocos foram queimados em forno tipo Mufla em temperatura de 900°C à 1000°C. Após a queima, as peças foram caracterizadas com relação ao comportamento mecânico e físico conforme norma NBR 15270-3.

Tabela 1. Designações para as formulações (Palhares, *et.al.*, 2012)

DESIGNAÇÃO	Argila	Ardósia
Formulação I	100	-
Formulação II	80	20
Formulação III	70	30

A tabela 2 apresenta os resultados obtidos durante a caracterização física e mecânica dos corpos de prova trabalhados nas temperaturas de 900°C e 1000°C.

Tabela 2. Caracterização Física e Mecânica das Peças Produzidas em Função da Temperatura de queima (Palhares, *et.al.*, 2012)

Formulações	Absorção de água(%)		Retração linear (%)		Resis. Mecânica (MPa) 1000°C
	900°C	1000°C	900°C	1000°C	
I	23,0	21,9	13,6	16,1	1,79
II	19,9	18,9	8,4	9,6	2,53
III	21,8	20,2	9,7	15,2	2,33

De um modo geral, a absorção de água e a retração após queima apresentam uma mesma configuração para as temperaturas em estudo. Maiores quantidades de ardósia na massa cerâmica levaram à diminuição dos níveis de absorção de água e retração em relação à massa cerâmica sem a presença dos resíduos.

Com o aumento da temperatura de queima há a formação de fase vítrea, que é responsável pelo fechamento dos poros, ocasionando a diminuição da absorção de água na peça. Os valores de absorção apresentados encontram-se dentro da norma ABNT – NBR 15270-3 especificadas para cerâmica vermelha ($AA \leq 22\%$).

A adição de ardósia (20%) diminuiu a taxa de retração linear em relação ao tijolo comum. Sugere-se que esses resíduos melhoram a permeabilidade das peças melhorando os processos de secagem e queima. A mesma quantidade de ardósia aumentou a resistência em 41%.

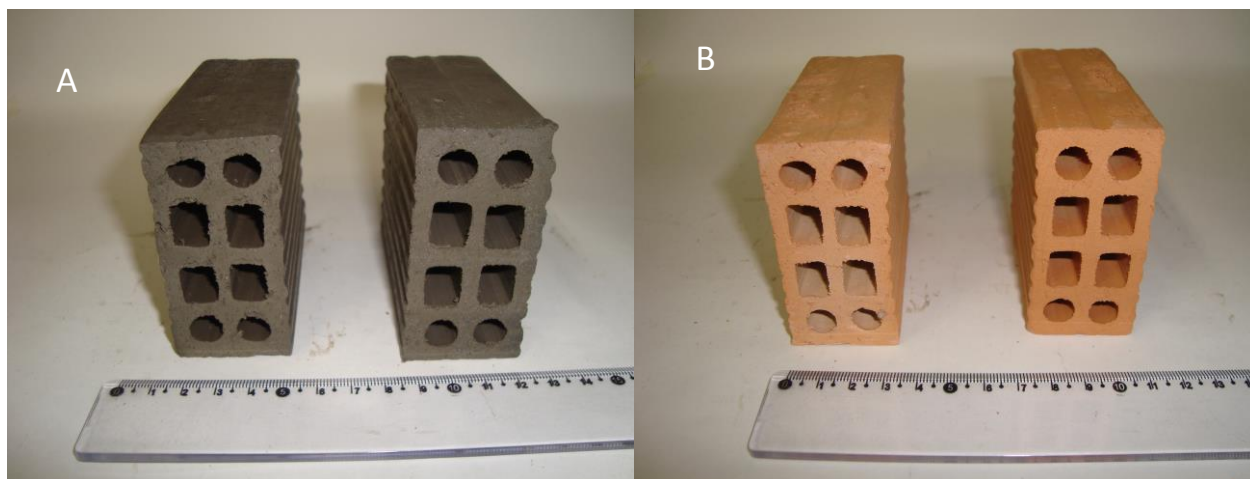


Figura 3 – Tijolos produzidos (A) antes da queima (B) após queima (Fonte dos autores)

2.3 Produção de peças cerâmicas via colagem de barbotinas

A colagem de barbotinas é um processo antigo e amplamente aplicado na produção de peças cerâmicas por ser considerado um processo de baixo custo e simples, além das vantagens de produzir peças de formas complexas, com paredes finas e uniformes. É descrita como a consolidação de partículas cerâmicas de uma suspensão coloidal, através da remoção da parte líquida, por um molde absorvente, geralmente gesso.

Foram produzidas suspensões de pó de ardósia em água destilada com porcentagem de sólidos constante (aproximadamente 70% p/v) e dispersante (poliacrilato de amônio) também constante (1,5% v/v). O poliacrilato de amônio utilizado foi fornecido pela empresa Miracema-

Nuodex com nome comercial de Liosperse 511. As suspensões foram homogeneizadas em um agitador magnético por 30 min.

A queima das peças produzidas foi feita em uma mufla da marca Jung, ano 2010, modelo 0612 até temperaturas de aproximadamente 1000°C.

Nas amostras tratadas termicamente foram identificadas novas fases como gehlenita, mulita e espinélios. Segundo Palhares, *et all.* (2006), a presença desses minerais já era esperada devido a presença de calcita na matéria prima. A gehlenita é formada através de reações de óxido de cálcio com Si e Al provenientes da decomposição da argila (Jordan *et all.*, 2001). Acredita-se que a presença da mulita é devido às altas concentrações de quartzo, alumina e caulinita nas argilas utilizadas.

Os testes de compressão realizados mostraram uma alta resistência das peças quanto comparadas a outras cerâmicas comuns. Os valores situam-se entre 1,9 e 4,3 MPa.

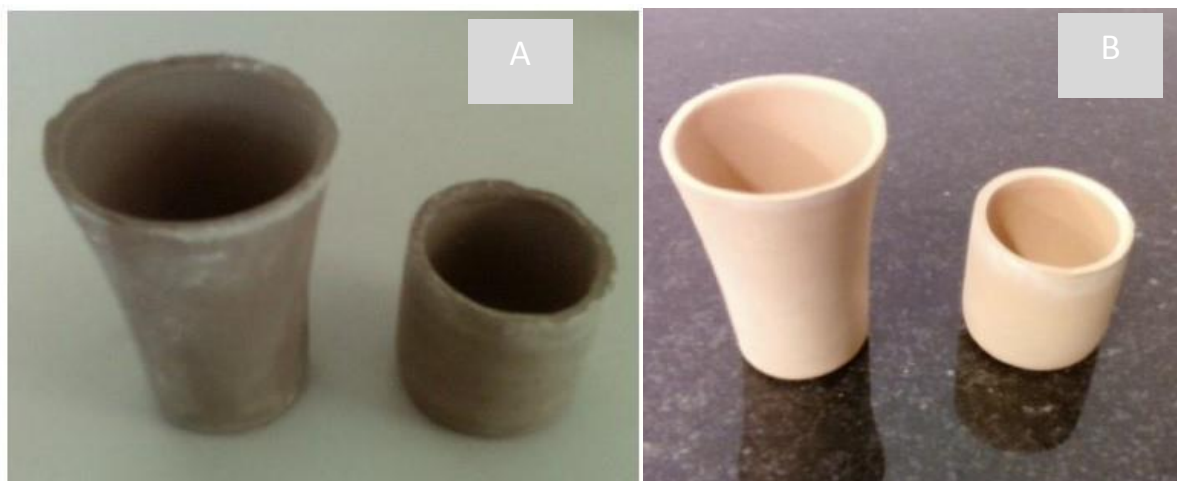


Figura 4 – Peças produzidas (A) antes da queima (B) após queima (Palhares, *et all.* 2012)

2.4 Produção de concreto com resíduos de ardósia

Para produção dos corpos de prova com resíduos de ardósia, utilizou-se o cimento composto CP II-E-32, que é comumente aplicado em concretos estruturais e convencionais, em peças como lajes, vigas, pilares, fundações e em argamassas em geral.

O traço adotado foi 1:2:3, onde 1 equivale à fração de cimento, 2 de agregados miúdos e 3 de agregados graúdos, em massa. A relação água/cimento utilizada foi de 0,55. Além do pó da ardósia, areias lavadas fina e grossa, de granulometrias máximas de 4,8 e 5,53mm,

respectivamente, foram utilizadas como agregados miúdos e a brita gnaisse n°0, como agregado graúdo.

Além do concreto de referência, sem adição do pó de ardósia, foram produzidos corpos de prova com 5, 10 e 15% de pó de ardósia em substituição à areia, em massa. Para cada percentual de ardósia e para cada idade de ruptura, fez-se 4 corpos de prova cilíndricos de 50mm de diâmetro e 100mm de altura, totalizando 48 corpos de prova. A produção dos corpos de prova foi referenciada pela NBR 5738 (ABNT, 2008) adaptada. A tabela 5 apresenta o traço dos corpos de prova produzidos.

Para estudo da influência da ardósia nas propriedades mecânicas, determinou-se a resistência à compressão axial de corpos de prova aos 3, 7 e 28 dias de idade em máquina universal de ensaios de marca Emic, modelo DL-30000.

A absorção de água pelo concreto foi avaliada através do método de imersão, de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 1987).

Observou-se que todos os concretos produzidos com ardósia apresentaram, para todas as idades e todos os teores de substituição, maiores resistências à compressão em relação à do concreto de referência. Este resultado indica o benefício da incorporação do resíduo em relação ao desempenho mecânico do concreto.

O corpo de prova com 15% de resíduo de ardósia apresentou resistência 38% maior que a do concreto de referência.

Este ganho na resistência traz o indicativo da ocorrência da atividade pozolânica e também a ocorrência do efeito fíller, já que o pó utilizado como agregado possuía baixa granulometria. A granulometria do pó foi suficiente para promover refinamento dos poros e maior densificação do concreto.

Os ensaios de absorção de água por imersão mostraram uma tendência de decréscimo da massa de água absorvida com o aumento do teor do agregado de substituição, porém, todos os teores de absorção são bem próximos, podendo-se considerar uma absorção média de 7% que permite sua utilização como blocos estruturais de acordo com a norma NBR 6136 (ABNT, 2007).

2.5 Produção de compósito (resina/ardósia)

Um compósito foi preparado com uma mistura de 560 gramas de pó de ardósia, 200 mL de resina (ortoftálica ou epóxi) e 30 mL de estireno para diminuição da viscosidade. Foram adicionadas 100 gotas de catalisador e a pasta foi misturada por 05 minutos. Em seguida a mesma foi adicionada a um molde retangular, já recoberto com o desmoldante, e aplicada uma força de 40 KN. Após prensagem a mistura foi deixada em repouso por 24 horas e retirada para caracterização.

A figura 5 mostra a rocha natural ardósia (A) e a rocha artificial de ardósia (B) após desmoldagem e cortada. Pela figura pode-se notar as semelhanças, principalmente na cor da rocha. A rocha artificial apresenta propriedades que permitem seu corte, polimento e alteração de cor com adição de outros reagentes.

Foram obtidos valores de resistência mecânica à compressão de até 78MPa para a rocha artificial mostrando que a mesma pode ser utilizada em pisos e revestimentos na construção civil. A rocha natural apresenta resistência de aproximadamente 336MPa. Os valores de absorção de água foram em todas as amostras menores do que 1%.

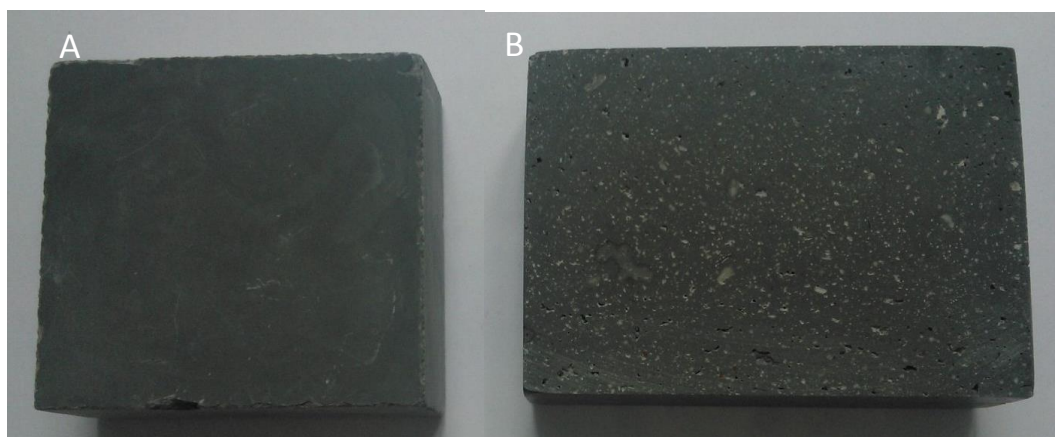


Figura 5 – Amostras de ardósia natural (A) e rocha artificial (B) (Fonte dos autores)

3. CONCLUSÕES

Os trabalhos desenvolvidos pelos autores desde 2000 tem mostrado que é viável o aproveitamento dos resíduos de ardósia, tanto das minas, quanto das indústrias que beneficiam a rocha.

Levando-se em conta o potencial do Estado de Minas Gerais para o setor de ardósias, muitos seriam os benefícios advindos da utilização dos resíduos.

Os autores entendem que a transferência de tecnologia (*know-how*) do laboratório para indústria envolve uma série de testes e problemas que devem ser resolvidos. Além disso, outras questões devem ser consideradas para que as aplicações sejam desenvolvidas em grande escala,

como: a falta de investimento na recuperação dos resíduos, grande número de pequenas empresas atuando, a conscientização de que os resíduos tem potencial para serem transformados em matérias primas para outros setores, o preconceito existente, tanto nas concreteiras quanto cerâmicas, sobre a inserção de resíduos nos produtos, entre outros.

Sendo assim, faz-se necessária a união dos setores da sociedade interessados em projetos de mineração e meio ambiente para que projetos em larga escala possam ser desenvolvidos e seus produtos comercializados.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: argamassa e concreto endurecidos - determinação da absorção de água por imersão - índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: 1987. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro: 2008. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-3: Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação. Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro: 2005. 6p.

JORDAN, M. F, *et all*. Firing transformations of tertiary clays used in the manufacturing of ceramics tile bodies. **Applied Clay Science**. Vol. 20 (2001) p. 87 – 95.

PALHARES, L. B., MANSUR, A.A.P., MANSUR, H.S. Study of pore size distribution of slate ceramic pieces produced by slip casting of waste powders. **Minerals Engineering**. Vol.19 (2006) p. 525-527.

PALHARES, L.B.; SATHER, J.M.J. ; DORNAS, K.G. ; PRAXEDES, G.B . A utilização de rejeitos na produção de tijolos para construção civil. *In*: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, 20. Joinville. **Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais**, Joinville: Vol. Único, 2012. 8p.

PALHARES, L.B.; MOREIRA, B.H.M.; PERINI, P. C. D. Reaproveitamento de resíduos de ardósia na fabricação de peças cerâmicas pela Técnica de colagem de barbotinas. **Pós em Revista**. Vol. 5 (2012) p 157-161.

PALHARES L.B. e SILVA, S. B. P. Reaproveitamento de rejeitos provenientes da extração e beneficiamento de ardósia para produção de concreto. 2015. 49 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação, Engenharia de Materiais) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte.

VIDAL, F.W.H. Aproveitamento de rejeitos de rochas ornamentais de revestimentos. *In*: Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 4. Fortaleza. **Anais do IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste**. Fortaleza: CETEM/MCTI, 2003. 10 p.

PREVIABILIDADE ECONÔMICA PARA O USO DO BEGE BAHIA COMO CARGA EM COMPOSTOS POLIMÉRICOS

Francisco Wilson Hollanda Vidal¹, Gilson Ezequiel Ferreira², Roberto Carlos da Conceição Ribeiro³,

Carlos Alberto Felix Fonseca Junior⁴

¹ Eng. de Minas, D.Sc., Tecnologista Sênior, CETEM/MCTI

² Eng. Químico, D.Sc., Pesquisador, CETEM/MCTI

³ Economista, D.Sc., Pesquisador, CETEM/MCTI

⁴Eng. de Produção

gferreira@cetem.gov.br

RESUMO

Este trabalho propõe estudar a viabilidade econômica para implantação de uma unidade de beneficiamento, utilizando os resíduos de extração e beneficiamento do calcário pré-cambriano, comercialmente denominado "Bege Bahia", no Município de Ouro-lândia, situada no Centro-Norte do Estado da Bahia, Brasil. O método de extração e processamento de rochas ornamentais no Município de Ouro-lândia gera quantidade significativa de resíduos que deverão ser processados e utilizados como carga na produção de compostos poliméricos na indústria nacional. No estudo de viabilidade econômica para aproveitamento dos resíduos gerados no beneficiamento do Bege Bahia foram definidos os equipamentos necessários e descritos os trabalhos a serem executados assim como o levantamento das condições econômicas e de infraestrutura de forma a serem obtidos os dados para a implantação do projeto. Foram utilizados dispositivos econômicos de avaliação de projetos tais como Taxa Interna de Retorno, Valor Presente e Tempo de Retorno do Capital.

PALAVRAS-CHAVE: viabilidade econômica, resíduos de mármore.

ABSTRACT

This study evaluates the economic feasibility of implementing one industrial processing plant for the residues of the production of a Precambrian Limestone, commercially known as "Bege Bahia",

in the municipality of Ouroândia, interior of the State of Bahia, Brazil. Quarrying and sawing of that limestone generate huge amounts of wastes that can be used, after being processed, as filler in polymer compounds by the national industry. This paper describes the economical and infrastructural frame of the area and details the processing unit to be installed (equipment, inputs and workflows). The feasibility of that plant was evaluated by using financial analysis tools such as: Internal Rate of Return, Net Present Value, Payback Period, Brake-even Point and others.

KEYWORDS: economic feasibility, stones as filler.

1. INTRODUÇÃO

São apresentadas, neste trabalho, as informações básicas sobre a elaboração de projetos e as técnicas mais adequadas às avaliações econômicas.

Pretende-se que o leitor tenha noção das técnicas empregadas na elaboração e avaliação econômica de projetos de mineração, e perceba a importância desta fase que precede a implantação de um empreendimento mineral. No que se refere às técnicas de elaboração de um projeto, serão abordados: aspectos gerais do projeto; engenharia de projeto, mercado; e avaliação de custo e de receita. Essas informações servem de base à montagem do fluxo de caixa e à avaliação econômica do empreendimento.

2. OBJETIVOS

Verificar a viabilidade econômica para a construção de uma unidade de beneficiamento, utilizando os rejeitos de extração e beneficiamento do calcário pré-cambriano, mármore travertino, comercialmente denominado "Bege Bahia", da região da cidade de Ouroândia e seu entorno, situada no interior do Estado da Bahia.

As informações e valores serão apresentados de forma resumida devido as características do trabalho; estas foram coletadas de empresas existentes no mercado baiano e os dados concernentes à engenharia de mina e aspectos geológicos foram extraídos de relatórios disponíveis nos órgãos como DNPM, IBGE, CETEM, CBPM, SIC-BA e Sindicatos.

Os dados referidos nesse relatório, inclusive os financeiros, referem-se a junho de 2014, esclarece-se que para um melhor entendimento e exatidão novos e mais exaustivos estudos devem ser realizados.

3. MERCADO

Em termos gerais, o objetivo do estudo de mercado relativo a um projeto é definir, para um determinado período, o que vai ser produzido, quem vai comprar o produto, em que quantidade, a qual preço, quais os concorrentes e qual a parcela do mercado que caberá a cada concorrente.

3.1 Características do Produto

A Bahia posiciona-se como o terceiro maior produtor de rochas ornamentais do Brasil, possuindo uma completa diversidade de cores de rochas do país, que vão desde as suas famosas rochas azuis passando para uma variedade de cores incluindo-se mármore, granitos, arenitos e conglomerados.

3.2 Matéria Prima

A Bahia posiciona-se como o terceiro maior produtor de rochas ornamentais do Brasil, possuindo uma completa diversidade de cores de rochas do país, que vão desde as suas famosas rochas azuis passando para uma variedade de cores incluindo-se mármore, granitos, arenitos e conglomerados.

4. LOGÍSTICA DO EMPREENDIMENTO

Na escolha da localização do empreendimento, deverá ser observada a infraestrutura local de apoio; prever a necessidade de energia elétrica, fornecimento de água, telecomunicação, mão de obra, custo de frete além de apresentar uma logística que facilite o suprimento de matéria prima e facilite o escoamento da produção; ou seja, estrategicamente o mais próximo das fontes de suprimento da matéria prima e das vias de acesso aos centros consumidores.

5. LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

O Município de Orolândia está localizado na região de planejamento do Piemonte da Diamantina do Estado da Bahia, limitando-se a leste com o Município de Jacobina, a sul com Várzea Nova e Morro do Chapéu, a oeste com Sento Sé e Umburanas, e a norte com Mirangaba.

6. ENGENHARIA DO PROJETO

Entre os principais equipamentos, no presente projeto, serão usados 2 moinhos com capacidade de produção total de 100 t/h, ou seja, 211.200 toneladas por ano, em 1 turno de 8h por 264 dias ano. Considerando as perdas, quebras, acidentes ou outras anormalidades adotou-se produção de 168.300 ton/ano o permitirá à empresa atuar com razoável ocupação de sua capacidade instalada.

Considerou-se a vida útil do empreendimento em 20 anos, sem considerar valor residual. Serão utilizado os resíduos da extração e beneficiamento do “Bege Bahia”, portanto sem custo de aquisição, conforme já enfatizado.

O regime de operação ou jornada de trabalho será de 22 dias por mês perfazendo 264 dias por anos em um turno de 8 horas.

O preço de venda pretendido será de R\$30,00 por toneladas FOB usina.

O fluxograma de produção é simplificado e tradicional em todas as fases de operação

6.1 Fontes Geradas de Matéria Prima

Visando o aproveitamento dos resíduos sólidos, podemos definir 3 (três) fontes de abastecimento da usina de beneficiamento:

- Blocos não conformes e pedras marroadas, provenientes das pedreiras.
- Casqueiros provenientes das laterais nas serragens de blocos.
- Cacos de chapas, originários das serrarias e de polimento.

6.2 Descrição de Processo

Os materiais acima obtidos, serão transportados por caminhões caçamba até o pátio de estocagem da usina em questão sem custo de aquisição. Os resíduos são oriundos das pedreiras, serrarias e terão custo zero de aquisição, os resíduos em serão tratados separadamente.

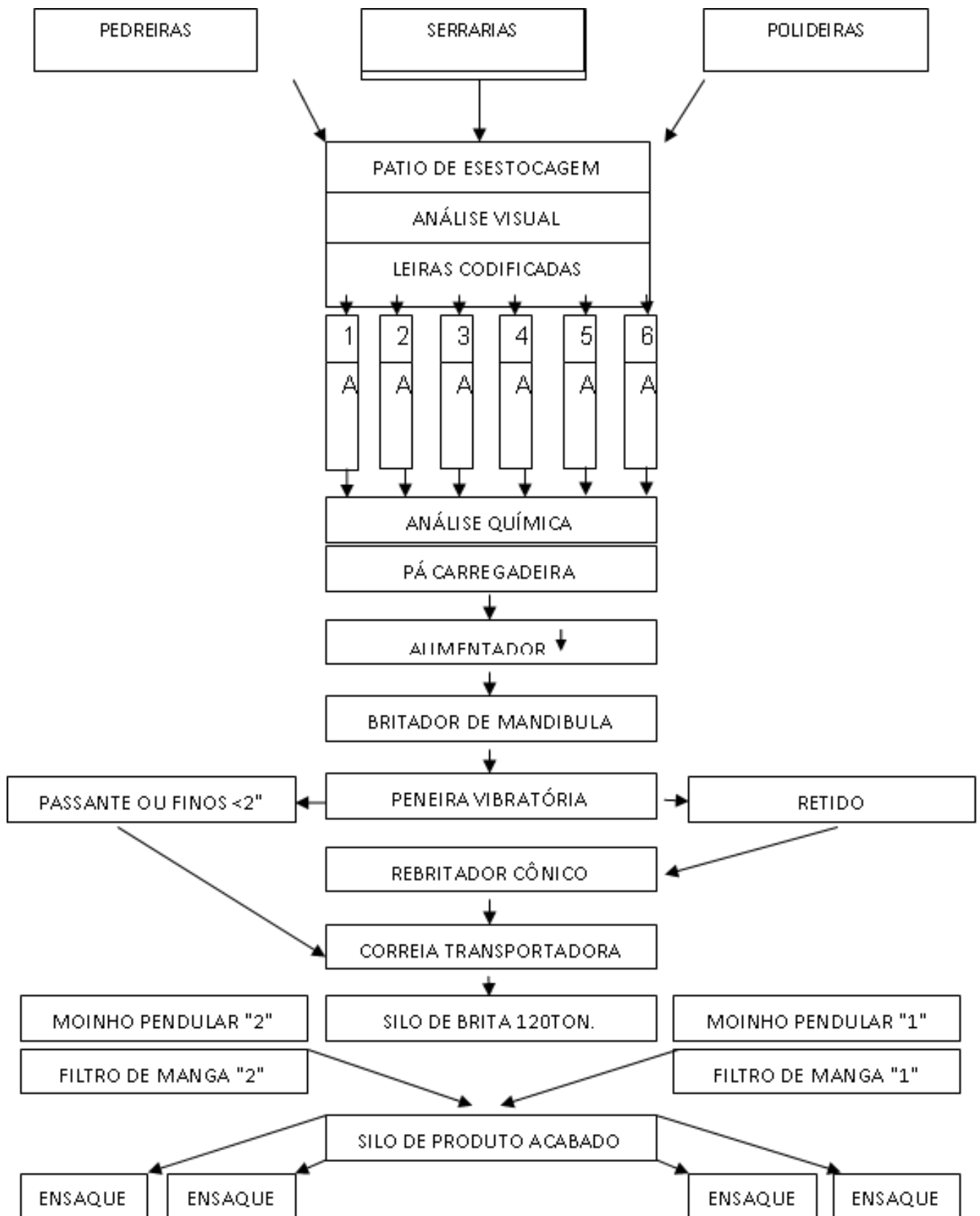


Figura 1. Localização da região de Ourolândia – BA. Fonte: DERBA - Departamento de Infraestrutura Rodoviária da Bahia

7. GERAÇÃO DE EMPREGO

Devido ao simples processo tecnológico (tradicional) a ser empregado não deve exigir grande especialização e treinamento a mão-de-obra direta que será contratada na própria região.

8. INVESTIMENTOS FIXOS

As máquinas, equipamentos, veículos, diversos para processo de produção e administração serão adquiridos de fornecedores nacionais, sem exigência de uma tecnologia própria para este projeto e os valores de aquisição dos bens citados são para entrega no Município de Ourolandia na futura usina de beneficiamento e foram cotados em junho de 2014, Tabela 1.

Tabela 1. Investimento em Máquinas e Equipamentos

Principais Equipamentos	Valores R\$
2 Pás Carregadeiras	200.000,00
Alimentador vibratório	50.000,00
Britador de mandíbulas modelo 60x90	200.000,00
Peneira vibratória	50.000,00
Rebritador Giro esférico ou mandíbulas	200.000,00
Cinta Transportadora	50.000,00
Silo de brita para moinho pendular capacidade 120 ton.	100.000,00
2 x Moinhos Verdés	2.000.000,00
Elevador de canecas da rosca para silo moinho de bolas	50.000,00
Moinho de bolas 6,00m x 1,80m	1.000.000,00
Divisor dosador de pó dos classificados	50.000,00
Elevador de canecas da sopra do divisor dosador	50.000,00
4 x Roscas transportadoras dos classificados	100.000,00
4 x Classificadores super JB	1.000.000,00
4 x Roscas transportadoras dos filtros para elevador	50.000,00
Elevador de canecas para silo de acabado	50.000,00
Silo de produto acabado, capacidade 60 toneladas	50.000,00
4 Ensacadoras, balança eletrônica para saco valvulado	50.000,00
2 Ensacadoras, balança eletrônica para big bags	50.000,00
1 Caminhão basculante	100.000,00
TOTAL	5.450.000,00

9. AVALIAÇÃO DE CUSTOS

Os investimentos e a avaliação de custos na mineração se caracterizam pela limitação da vida útil da mina; uma vez extraído todo minério economicamente explorável existente, é forçoso o encerramento das operações.

9.1 Cálculo da Receita

Considerando-se a produção total dos moinhos em 100t/h e o ano com 2112 horas equivale 211.200 t/a funcionando a uma capacidade de produção de cerca de 80%, considerou-se como sendo produzidos 168.300 toneladas por ano.

O valor médio de venda na região onde funcionará a empresa deverá ser de R\$ 30,00 a tonelada, FOB usina, o que proporcionará uma receita BRUTA ANUAL de R\$ 5.049.000.

Deduzindo os impostos sobre a receita bruta COFINS 3% e PIS 0,65% resulta numa RECEITA LIQUIDA de 4.864.712.

Os impostos sobre a Receita Bruta foram: COFINS (151.470) + PIS (32.818) =184.288.

10. CONSOLIDAÇÃO DOS CUSTOS

Tabela 2. Consolidação dos custos.

Custos	R\$
Usina de Beneficiamento	2.095.123,00
Administrativo	829.025,00
Comercial	263.546,00
Total	3.187.694,00

Fonte: Elaboração dos autores

11. CAPITAL DE GIRO

O capital de giro necessário foi calculado tendo por base aplicada à realidade de uma empresa de mineração de pequeno porte com todas vendas realizadas a vista conforme está apresentada abaixo.

Considerando todos os itens acima comentados, estimou-se a necessidade de R\$ 503.900 de capital de giro, conforme abaixo:

Investimento Fixo.....	6.300.000
Capital de Giro.....	503.977
Investimento Total.....	6.803.977

12. FLUXO DE CAIXA DO PROJETO

Entende-se como fluxo de caixa a diferença entre as entradas e as saídas de caixa, associada a um projeto ou empreendimento, durante um determinado período de tempo. Para efeito de avaliação econômica, é normalmente utilizado como unidade de tempo o período de um ano.

13. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos o projeto mostra-se viável para um valor pretendido de venda do produto a R\$30,00 por tonelada, preço FOB na usina de beneficiamento. Existem algumas restrições quanto à demanda que precisa ser melhor estudada uma vez que os mercados detectados, Polo Petroquímico de Camaçari e Região Metropolitana de Belo Horizonte localizam-se a 416 km e 1.369 km respectivamente. Essas grandes distâncias, apesar do produto ser vendido FOB usina, poderão influenciar sobremaneira na sua colocação. A estratégia de logística deverão ser definidas com os potenciais compradores em função da distância até o empreendimento em Ouro-lândia no Estado da Bahia sendo frete fator preponderante.

Taxa de Desconto: Considerou-se, para o cálculo do Valor Presente, que o empreendimento seja estruturado com 100% de capital próprio a um custo de 12% ao ano.

Os principais parâmetros a partir do fluxo de caixa, com taxa de atratividade de 12% são:

TIR- Taxa Interna de Retorno : 12%

Payback - Tempo de Retorno do Capital: 7,37 ano

VPL – Valor Presente Líquido: R\$ 334.966,78

Acrescente-se que os cálculos efetuados foram feitos considerando-se a operação da usina a uma capacidade de 168.300 toneladas por ano, em um único turno de produção. A capacidade instalada da usina pode atingir em caso de necessidade o volume total de produção de 211.200

toneladas por ano em um turno. No projeto executivo deverão também ser aproveitada a lama, resíduo das serrarias que podem ser diretamente ensacadas, eliminando-se a etapa de britagem.

14. BIBLIOGRAFIA

ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO 1999-2012. Disponível em <http://dnpm.gov.br> acesso em 10/05/2014.

BUARQUE, Cristovam. Avaliação Econômica de Projetos: Uma apresentação didática. São Paulo: Campus, 1984. 266 p.

CALAES G.D.. Metodologia de Avaliação Econômica. Manual de Agregados para a Construção Civil. Rio de Janeiro, Cetem/CNPq 2009

CALAES G. D. Análise Econômica da Produção de Agregados. Rio de Janeiro, Cetem/CNPq, 2009.

CHAVES, A. P. Teoria do Tratamento de Minérios . São Paulo, Signus 2006.

CASTRO, Mario Cesar Gomes de; Tese de Mestrado Projeto para Mineração de Pequeno e Medio Porte: elementos para a elaboração para um estudo de viabilidade. UNICAMP, 1997.

COMPANHIA BAHIANA DE PESQUISA MINERAL- CBPM; Disponível em <http://www.cbpm.com.br> Acesso em 25/06/2014.

FERREIRA G. E.; ANDRADE J. G.; Avaliação Econômica de Projetos de Mineração. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq 1998.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <HTTP://www.ibge.gov.br>

SUMÁRIO MINERAL BRASILEIRO 1999 – 2014 Disponível em <WWW.dnpm.gov.br> acesso em 23/04/2014.

VIDAL, F. W. H., Estudos dos elementos abrasivos de fios diamantados para a lavra de granitos do Ceará, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, 1999.

VIDAL, F.W.H.(1995); A Indústria de R.O. no Ceará. São Paulo. Dissertação de Mestrado; Escola Politécnica da USP; Departamento de Engenharia de Minas. 178 p

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS UTILIZANDO TEAR MULTIFIO

Rômulo Furtado Faria¹, Juliano Tessinari Zagôto², Cássio Furtado Lima³

¹ Professor, Instituto Federal do Espírito Santo IFES

² Professor, Instituto Federal do Espírito Santo IFES

³ Professor, Instituto Federal do Espírito Santo IFES

E-mail autor principal: romulo.faria@ifes.edu.br

RESUMO

Conhecida como a capital nacional do granito, Nova Venécia, contém uma rica e complexa geologia na região norte/noroeste do Espírito Santo. Toda abundância de recurso mineral disponível possibilita o crescimento regional alinhado ao desenvolvimento da indústria extrativista de transformação. O estudo em questão tem como foco a busca de perspectivas futuras do setor por meio da agregação de valor e adensamento de conhecimento na etapa de beneficiamento de rochas ornamentais. A metodologia a ser utilizada neste estudo consiste numa pesquisa descritiva, que pode ser enquadrada como estudo de caso, do tipo exploratório e de caráter qualitativo. A pesquisa tem como objetivo analisar a eficiência energética no processo de beneficiamento de rocha ornamental em função das variáveis operacionais do tear multifio. As etapas da pesquisa consistiram: Escolha de uma empresa atuante no setor de processamento (desdobramento) de rocha ornamental; amostragem da variabilidade de rochas ornamentais no período de março de 2015 a setembro de 2015 por meio de aferições e/ou medições de tempo de processamento e outras variáveis operacionais do tear multifio, durante. Através deste método foi possível determinar quais materiais possui menor e maior eficiência energética. A pesquisa consolida uma melhor forma de gestão de processos em função das variáveis operacionais.

PALAVRAS-CHAVE: Rocha Ornamental, Eficiência Energética, Tear Multifio.

ABSTRACT

Nova Venécia, known as the National Capital of Granite, contains a rich and complex geology in the north/northwest of *Espírito Santo*. The abundance of mineral resource available enables regional growth combined by the development of extractive manufacturing industry. The study aims to pursuit future prospects of the sector by adding value and consolidation of knowledge in the natural stone processing step. The methodology used in this study is a descriptive research, which can be framed as a case study, an exploratory and qualitative. The research aims to analyze the energy efficiency of the ornamental stone processing in accordance with the operational variables of the multiwire loom. The research steps consisted in: Choose an active company in the processing industry of ornamental stone; sampling of the variability of ornamental stone from March 2015 to September 2015 through processing time evaluations and/or measurements and other operational variables of the multiwire loom, in progress. Through this method it was possible to determine which stones have a lower and greater energy efficiency. The research consolidates a better way of processes management in accordance with the operating variables.

KEYWORDS: Ornamental Stone, Energy Efficiency, Multiwire Loom.

1. INTRODUÇÃO

As rochas são agrupamentos de minerais agregados que compõem a estrutura sólida da crosta terrestre sendo classificadas em magmáticas ou ígneas, metamórficas e sedimentares. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), nos termos da norma 15.012:2003 a rocha ornamental é definida como um material rochoso natural que, submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento, pode ser utilizada para exercer uma função estética e/ou estruturante em uma obra de construção civil.

Especificamente o norte e noroeste do ES concentram cerca de 70% da extração de granito. Na microrregião noroeste II do estado ganha destaque o município de Nova Venécia, quando o assunto são rochas ornamentais, abrigando atualmente dois polos empresariais com 219 empreendimentos. Nova Venécia está localizada a 225 km da capital do estado e concentra uma população de 46.031 habitantes (IBGE, Censo 2010).

O Espírito Santo se destaca como o grande produtor mundial do bem mineral em questão, torna-se necessário atentar para a cadeia de produção do granito, em especial para os custos nos processos de beneficiamento os quais interferem diretamente no cenário econômico de comercialização deste produto.

Segundo o Centro Brasileiro dos Exportadores de Rochas Ornamentais, o Espírito Santo é o principal produtor, beneficiador e o maior exportador de rochas ornamentais do Brasil. Foi responsável pela exportação de cerca de US\$ 1,015 bilhão do setor, sendo que deste valor, US\$856,5 milhões são referentes a rochas processadas (84,4%), o que representa um valor de US\$ 922,1 milhões (70,8%) das exportações de rochas ornamentais do país. O resultado alcançado é atribuído à recuperação da economia dos EUA, ao aumento da competitividade a partir da aquisição de equipamentos de alta tecnologia, o que reduz o custo final de produção (CENTROROCHAS, 2015).

Dados do Instituto Jones Dos Santos Neves (IJSN), indicam que, o principal comprador das chapas de granitos, produto de maior valor agregado, são os Estados Unidos, que respondem por mais de 80% dos negócios, seguido por Canadá (4%) e México (2,7%). Já a China se destaca na compra de blocos de granito, com uma participação de quase 55%, seguida pela Itália (20%) e Taiwan (10%) (IJSN, 2015).

As buscas por melhorias no processo produtivo, devem ser sempre ligadas as questões envolvendo eficiência energética. Segundo GODOI (2011) a eficiência energética é definida em função dos aspectos técnicos e tecnológicos; isto é, pelo emprego de tecnologias de equipamentos, processos e sistemas energeticamente mais eficientes, através da incorporação de aspectos socioambientais relacionados à energia. Para alcançar a operacionalização da eficiência energética é necessário possuir uma estrutura gerencial mínima, que abrange atividades tais como, identificar, quantificar, modificar a situação existente, acompanhar a implementação de ações corretivas e os resultados alcançados. Dessa forma, para a eficácia do processo de eficiência energética no beneficiamento de rochas ornamentais, é indispensável diagnosticar e conhecer a realidade do empreendimento industrial. Somente assim poderá estabelecer uma visão das reais necessidades, definir prioridades, implantar projetos de uso/redução de energia, afim de medir, acompanhar os resultados almejados.

A escolha da análise da eficiência energética no tear multifio é baseado em parâmetros técnicos. Visto que grande parte dos equipamentos existentes no mercado hoje possuem uma estrutura autônoma de controle de variáveis como consumo de energia, tempo de processamento, massa de material processada e consumo de fio diamantado. Características diferenciais essas em

relação ao tear multilâmina, ao qual ainda possui muito controle manual, além de não possuírem uma estrutura de registro e armazenamento de informações.

Estudos comparativos revelaram que o desempenho do tear multifio é superior ao tear multilâmina, principalmente no que diz respeito a maior velocidade de corte, maior produtividade de chapas por metro cúbico, menor consumo de energia, menor impacto ambiental, menor custo de mão de obra e melhor qualidade do produto obtido. Em contrapartida, o tear multilâmina apresenta melhor desempenho no custo de insumos. Concluiu-se, portanto que, o custo final de produção entre os dois tipos é praticamente igual, pois apesar do alto custo do tear multifio e do fio diamantado, a celeridade da produção é maior, o que permite um retorno mais rápido do investimento, gerando mais lucro para a empresa (SOUZA, D. V.; VIDAL, F. W. H.; CASTRO, N. F., 2013).

Os teares multifio representam um novo paradigma na serragem de chapas. É o que existe de mais avançado em tecnologia de corte de blocos para o setor de rochas ornamentais. É um equipamento de grande porte que permite uma produção mais versátil de beneficiamento mineral. Possui capacidade de processamento de blocos de diferentes dimensões para o atendimento das necessidades específicas de cada empresa. Consiste numa evolução tecnológica idealizada a partir do sucesso do uso do fio diamantado no beneficiamento de rochas ornamentais. Figura 01, a seguir apresenta a constituição do fio diamantado.

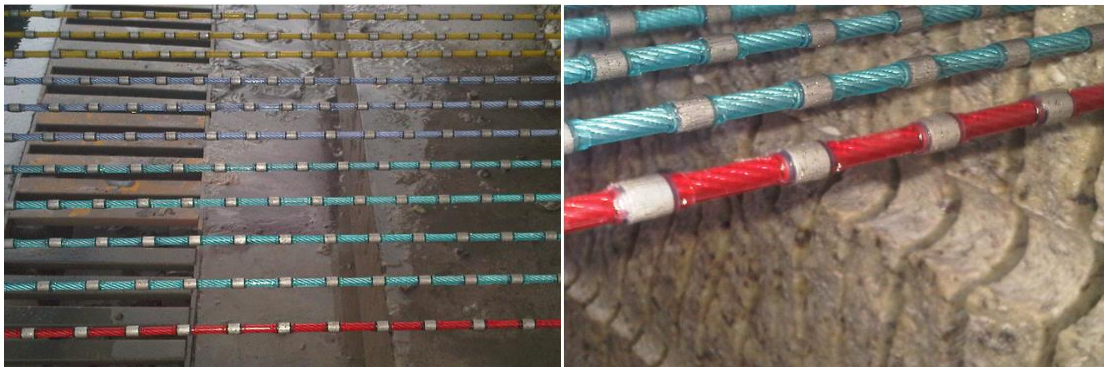


Figura 01: Fio diamantado

Fonte: Adaptado. Disponível em: <http://www.comercialguidoni.com.br/pages/produtos_FD_TearMultiFio.aspx>. Acessado em: 02 de setembro de 2015.

A tecnologia de fio diamantado aplicada ao beneficiamento primário de granitos comerciais melhora a produtividade, pois a cala (velocidade de corte) do tear multifio (até 80 cm/h) é maior que à do tear multilâmina (até 20 cm/h). O fio diamantado é constituído por um cabo de aço sobre o qual são fixadas pequenas peças cilíndricas diamantadas (pérolas), distanciadas entre si por um plástico/borracha especial injetado a alta pressão. A pérola diamantada utilizada no fio apresenta,

aproximadamente, diâmetro inicial de 7,3 mm, tendo sua utilização finalizada quando apresentar diâmetro de 5,2 mm. A cala é a distância percorrida na descida do conjunto em função do tempo gasto.

A Figura 02, a seguir apresenta a estrutura dos teares multifios, os quais são constituídos de uma armação metálica, com suportes cilíndricos que se movimentam em sentido vertical, sobre os quais se dispõem de forma equidistante e tensionada, até 72 fios diamantados, que realizam um movimento rotatório em torno dos suportes. Esse conjunto armação/fios é suportado por duas ou quatro colunas (dependendo do fabricante e do modelo) e girando e movimentando-se verticalmente em sentido descendente, os fios diamantados entram em contato com o bloco proporcionando o seu desdobramento em chapas. O corte é realizado a úmido, sendo o conjunto constantemente molhado com água. (ALMEIDA P. F. de, 2014).



Figura 02: Estrutura do Tear multifio (A) e (B) Visão panorâmica do tear multifio. (C) e (D) Espaçamento entre os fios diamantados (E) e (F) Serragem do bloco. (G) Término da serragem

Fonte: Adaptado. ROSH 2015 Disponível em: <http://www.rosh.ind.br/arquivos/Tear_Multifio.pdf?PHPSESSID=9a506338f08319d2e5dfac616bc4f093>. Acessado em: 02 de setembro de 2015.

Na parte tribológica do processo, abordada por Silveira (2007), o corte com o fio diamantado é um processo de abrasão a dois corpos, pérola diamantada e rocha. De acordo com esse mesmo autor, o desgaste no processo de abrasão a dois corpos é menor que na abrasão a três corpos. Aplicando essa óptica ao processo de desdobramento de blocos, vemos que no caso do fio diamantado precisa-se desgastar um corpo (pérola), enquanto que no caso de teares convencionas

de lâminas, é necessário desgastar dois corpos (granalha e lâmina), para em ambos os casos desgastar (serrar) a rocha.

O desdobramento utilizando o tear multifio é automatizado e os parâmetros de serrada tais como: velocidade de cala, velocidade periférica e corrente nominal do motor principal são regulados pela própria máquina de acordo com a dureza do material serrado, diminuindo a dependência do operador no procedimento de serrada. A máquina possui um sistema de sensores para monitorar a operação e possui um alarme integrado que indica o funcionamento incorreto de algum mecanismo da máquina, mostrando na tela do computador a natureza do problema, o que auxilia o processo de reparo e diminui o tempo de máquina parada.

O objetivo deste trabalho é identificar o consumo de energia durante o beneficiamento das variedades de rochas ornamentais, comercializadas e buscar as respostas para este consumo pautadas em variáveis operacionais e estruturais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada neste estudo consiste numa pesquisa descritiva, que pode ser enquadrada como estudo de caso, sendo do tipo exploratório e de caráter qualitativo. O foco de estudo constituiu-se em amostrar o processo de beneficiamento de rochas ornamentais de uma determinada empresa, afim de aferir suas medições de consumo de energia no processo de beneficiamento, durante um determinado período (13 de março de 2015 a 28 de setembro de 2015).

Os critérios adotados para escolha da empresa de beneficiamento de rochas ornamentais consideraram a sua localização, município de Nova Venécia que utilizassem o equipamento mais moderno (tear multifio) no setor de processamento de rochas ornamentais. Por motivos éticos não foi divulgado o nome da empresa participante da pesquisa.

Na etapa de campo foram coletados os dados referentes ao processo que possibilitou o cálculo do consumo energético por tipologia de material de acordo com a nomenclatura comercial. Com os dados obtidos de energia específica (quantidade de energia utilizada no processo de desdobramento por tipologia), consumida em função do tempo de processamento de cada material amostrado, foi possível verificar quais materiais apresentavam maior ou menor consumo de energia no processo. Desta forma obteve-se a eficiência energética do material pesquisado na

etapa de processamento das chapas. O critério de exclusão adotado foi o beneficiamento de apenas um bloco por vez.

3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Foram analisadas as variabilidades de 13 tipologias de rochas ornamentais contendo os seguintes nomes comerciais: Callacata, Madreperola, Azul Imperial, Roma Imperiale, Bordeaux Dream, Siena Beige, Yellow Supreme, Snow White, Portofino, Agatha, Typhoon Bordeaux, Monte Carlo Bordeaux, Giallo Imperial.

Tabela 01. Resultado do Beneficiamento no tear multifio.

Material	Tempo de benf.. (h)	Cons. de Energia (kWh)	Chapa				Área (m ²)	Dur.	Veloc. de corte m ² /h	Medida Inicial (mm)	Medida Final (mm)	Vari. de desg. (mm)
			Cortado (m ³)	de 3cm (n ^o)	Comp. (m)	Alt. (m)						
Callacata	20:30:00	1681,00	11,722	47	3,180	1,920	6,106	6,000	0,318	6,11	6,04	0,07
Madreperola	20:23:00	1671,43	12,346	50	3,420	1,900	6,498	6,000	0,342	7,30	7,21	0,09
Azul Imperial	10:54:00	893,80	11,988	42	3,440	2,050	7,052	5,000	0,688	6,37	6,35	0,02
Azul Imperial	10:33:00	865,10	10,034	49	2,900	1,730	5,017	5,000	0,522	6,66	6,62	0,04
Roma Imperiale	10:19:00	845,97	10,950	46	3,020	1,960	5,919	5,000	0,453	6,39	6,37	0,02
Bordeaux Dream	08:16:00	677,87	11,878	49	3,140	1,940	6,092	3,000	0,785	6,33	6,30	0,03
Siena Beige	08:15:00	676,50	9,954	46	3,040	1,770	5,381	4,000	0,699	5,83	5,78	0,05
Yellow Supreme	08:15:00	676,50	10,226	44	2,910	1,960	5,704	3,000	0,728	6,60	6,58	0,02
Snow White	08:15:00	676,50	10,924	46	2,980	1,950	5,811	3,000	0,745	6,41	6,39	0,02
Siena Beige	08:03:00	660,10	10,144	45	3,030	1,860	5,636	4,000	0,758	5,91	5,87	0,04
Bordeaux Dream	07:49:00	640,97	11,587	43	3,160	2,060	6,510	3,000	0,790	6,58	6,53	0,05
Portofino	07:12:00	590,40	13,134	48	3,300	2,000	6,600	3,000	0,990	6,69	6,66	0,03
Portofino	07:10:00	587,67	12,524	50	3,070	1,990	6,109	3,000	1,075	6,50	6,47	0,03
Agatha	06:49:00	558,97	10,546	43	3,100	1,890	5,859	3,000	0,930	6,31	6,29	0,02
Typhoon Bordeaux	06:43:00	550,77	11,073	47	3,100	1,880	5,828	3,000	1,085	6,35	6,33	0,02
Monte Carlo Bordeaux	06:38:00	543,93	12,611	50	3,120	1,880	5,866	3,000	0,936	5,87	5,83	0,04
Giallo Imperial	06:35:00	539,83	10,498	49	2,750	1,890	5,198	3,000	0,825	6,04	6,00	0,04
Agatha	06:21:00	520,70	10,179	42	3,000	1,950	5,850	3,000	0,990	6,22	6,20	0,02
Portofino	06:09:00	504,30	12,832	50	3,070	2,000	6,140	3,000	0,921	6,62	6,60	0,02
Portofino	05:57:00	487,90	11,818	50	2,970	1,970	5,851	3,000	1,040	6,78	6,76	0,02
Bordeaux	05:45:00	471,50	10,460	47	2,960	1,860	5,506	3,000	1,036	6,85	6,81	0,04
Portofino	05:41:00	466,03	10,208	48	2,770	1,890	5,235	3,000	0,970	6,20	6,18	0,02
Portofino	05:36:00	459,20	13,146	50	3,130	2,000	6,260	3,000	1,096	6,44	6,41	0,03
Portofino	05:23:00	441,43	12,728	47	3,280	1,990	6,527	3,000	1,148	7,21	7,15	0,06
Portofino	05:22:00	440,07	12,919	50	3,280	1,950	6,396	3,000	1,148	6,99	6,96	0,03
Portofino	04:50:00	396,33	11,601	45	3,320	1,920	6,374	3,000	1,494	6,13	6,11	0,02
TyphoonBordeaux	04:48:00	393,60	10,404	49	3,060	1,700	5,202	3,000	1,071	6,35	6,35	0,00

Resultados:

- a soma total de horas de beneficiamento foram de 218 horas e 31 minutos;
- a soma total de metros cúbicos beneficiados foram 308,434;
- o consumo total de energia 17918,37 kWh no beneficiamento;
- total de chapas produzidas no período 1272;
- variação de dureza de 6 a 3 (mohs) e média de 3,51;
- variação de velocidade de corte 0,318 m²/h a 1,494 m²/h com média de 0,873 m²/h;
- variação de desgaste no fio 0,09 a 0,01 mm.

Uma variável importante foi a variação do diâmetro do fio representada pela última coluna na Tabela 01. Nota-se que o desgaste foi diretamente proporcional a dureza do material, isto é, quanto mais duro maior será o desgaste. Ressalta-se também que o desgaste é influenciado pela velocidade de corte. Ao realizar uma análise crítica na Tabela 01, verificou-se que o material *Portofino* apresentou variações significativas de velocidade de corte e que essas variações proporcionaram uma relação direta em função do desgaste no fio. Isto é na maioria dos dados contidos na Tabela 01 um aumento de velocidade de corte reflete em um aumento de desgaste no fio.

Na Tabela 01 observa-se o consumo de energia não possui uma relação direta com a dureza da rocha a exemplo dos materiais: *Siena Beige* e *Bordeaux Dream* de dureza 4 e 3, além dos respectivos consumos 676,50 kWh e 677,87 kWh. Outra análise importante de eficiência energética observada na Tabela 01 foi a associação do consumo de energia e o volume de material processado. Blocos de rochas com maiores volumes não necessariamente consome mais energia a exemplo dos materiais: *Callacata* com volume de 11,722 m³ e consumo de energia de 1681 kWh, enquanto que *Madreperola* com volume de 12,346 m³ e consome de energia de 1671,43 kWh. Portanto para analisar eficiência energética é necessário que se conheçam parâmetros físicos, mas também geológicos e estruturais das rochas.

Ainda na Tabela 01 pode-se verificar que o material conhecido como *Callacata*, apresentou maior consumo de energia. Enquanto que o material *TyphoonBordeaux*, teve o menor consumo de energia. Essa variação ocorreu principalmente devido sua constituição estrutural conforme evidência a Figura 03, sendo o *Callacata* composto basicamente por quartzo e um pequeno percentual de cristobalita, enquanto que o *TyphoonBordeaux* é composto basicamente por feldspato, quartzo, biotita e granada.

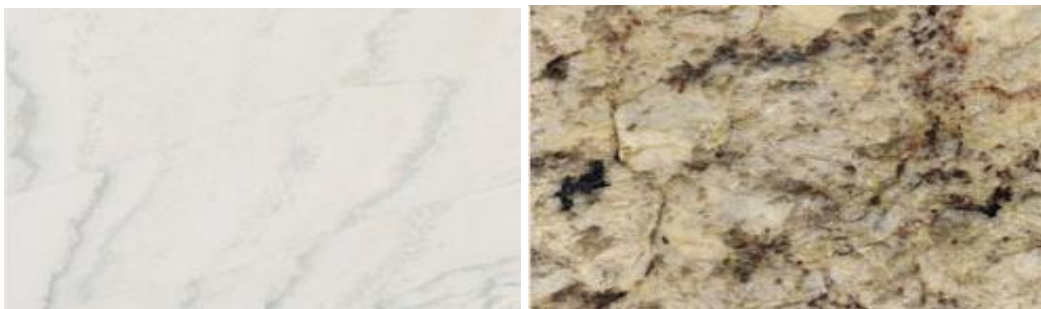


Figura 03: *Callacata & TyphoonBordeaux.*

Em relação as diversidades dos minerais que compõem as rochas estudadas, as variações encontradas apresentam uma relação inversamente proporcional ao consumo de energia no processo, conforme evidenciado na Figura 03. Ou seja, rochas que apresentaram um consumo maior de energia no processamento, possuem poucos tipos mineralógicos diferentes, além de uma estrutura de granulação fina a exemplo do material *Callacata*. Enquanto outras rochas a exemplo do *TyphoonBordeaux*, de maior diversidade de elementos minerais consomem menos energia no processo de desdobramento, além de apresentar uma estrutura de granulação grosseira.

Dessa forma, para a eficácia do processo de eficiência energética no beneficiamento de rochas ornamentais, é indispensável diagnosticar e conhecer a realidade do empreendimento industrial e a natureza das rochas. Assim, poderá se estabelecer uma visão das reais necessidades, definir as prioridades, implantar os projetos de uso/redução de energia, a fim de medir e acompanhar os resultados almejados.

4. CONCLUSÕES

A forma investigada resulta em melhoria na gestão estratégica no beneficiamento de rochas ornamentais. Permite comparar a eficiência de processamento para diversos tipos de materiais mesmo que possuam origem geológica diferentes. A exemplo do *Callacata* rocha metamórfica e o *TyphoonBordeaux*, rocha ígnea.

Em relação as diversidades dos minerais que compõem a rocha estudada, a variação encontrada apresenta uma relação inversamente proporcional ao consumo de energia no processo. Ou seja, rochas que apresentaram um consumo maior de energia no processamento, possuem poucos tipos mineralógicos. Enquanto outras, de maior diversidade de elementos minerais consomem menos energia no processo de desdobramento. Este dado ficou evidenciado nas análises de campo e através da Tabela 01.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2003). ABNT NBR 15012. Rochas para Revestimentos de Edificações – Terminologia, 10p.

ALMEIDA, Phillipe Fernandes. **Estudo comparativo do polimento de “granitos” com diferentes tipos de abrasivos**. Tese de Doutorado. 2014. Universidade de São Paulo.

CENTROROCHAS. Centro Brasileiro dos Exportadores de Rochas Ornamentais. Informativo das Exportações de Rochas. Junho de 2015. Disponível em: <<http://www.centrorochas.org.br/site/images/informativo%20junho%202015.pdf>>. Acessado em: 25 de agos. de 2015.

GODOI, J. M. A. “Eficiência Energética Industrial: Um modelo de governança de energia para indústria sob requisitos de sustentabilidade” Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo-2011. Disponível em: www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/...10082011.../GODOIJMA.pdf > Acessado em: 05 de fevereiro de 2016.

INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). IBGE cidades. Censo de 2010. Disponível: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/perfil.php?codmun=320390>>. Acessado em: 21 de jun. de 2013.

IJSN - INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES. 2015. Governo do Estado do Espírito Santo. Vitória, ES. Disponível em: <http://www.ijsn.es.gov.br/Sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=469&Itemid=108>. Acessado em: 24 de agos. de 2015.

SOUZA, D. V.; VIDAL, F. W. H.; CASTRO, N. F. Estudo comparativo da utilização de teares multilâmina e multifio no beneficiamento de granitos comerciais. Anais Do IV Congresso Brasileiro De Rochas Ornamentais • VII Simpósio De Rochas Ornamentais Do Nordeste. CETEM/MCTI Rio de Janeiro 2013.

SILVEIRA, L. L. L. Polimento de rochas ornamentais. 1 ed; Um enfoque tribológico ao processo 2007. 203f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (Brasil).

SITUAÇÃO MERCADOLÓGICA DE ROCHAS ORNAMENTAIS DA CIDADE DO NATAL/RN: UMA ABORDAGEM LOGÍSTICA

Silas Samuel dos Santos Costa¹, Lucas dos Santos Costa², Marcos Aurélio de Oliveira Maia³,

Jeimison André Gomes de Paiva⁴

¹ Estudante, Técnico em Mineração, Diretoria Acadêmica de Recursos Naturais, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Campus Natal Central

² Estudante, Bacharelado em Administração, Departamento de Ciências Administrativas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Natal Central

³ Professor Especialista, Diretoria Acadêmica de Recursos Naturais, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Campus Natal Central

⁴ Estudante, Técnico em Mineração, Diretoria Acadêmica de Recursos Naturais, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Campus Natal Central

geomn.silas@hotmail.com

RESUMO

O setor de construção civil na metrópole de Natal no Rio Grande Norte tem um grande potencial de crescimento, sendo, os materiais que compõem o nicho mercadológico, imprescindíveis para a sustentação do ramo de construção na expansão imobiliária, portanto, areia industrial, cerâmica, brita e as rochas ornamentais descrevem a necessidade de mercado para os minerais industriais. No entanto, nota-se que para as rochas ornamentais, o processo produtivo e a sistematização de entregas de rochas têm-se apresentado como obstáculo para os empreendedores que almejam se instalar no mercado local de vendas. Mediante a problemática, o presente trabalho visa analisar a situação atual em que se encontra o mercado de rochas ornamentais na cidade de Natal/RN sob a ótica da logística e das suas perspectivas, para isso serão utilizadas algumas ferramentas de gestão que servirão de suporte para a compreensão dos dados coletados, do resultado encontrado e à proposição de soluções que possam trazer benefícios para a cidade e o estado onde os estudos foram realizados.

PALAVRAS-CHAVE: rochas ornamentais, mercado, construção civil.

ABSTRACT

The construction sector in the Natal metropolis in Rio Grande do Norte has a great growth potential, and the materials that make up the essential marketing niche for support the construction industry in the housing crunch, therefore, industrial sand, ceramic, gravel and dimensional stones describe the market need for industrial minerals. However, it notes that for the ornamental rocks, the production process and the systematization of rocks deliveries there have presented an obstacle for entrepreneurs who aim to settle on the spot market sales. Upon issue, the present study aims to analyze the current situation in which is the market of ornamental stones in the city of Natal/RN from the perspective of logistics and its prospects for that will be used some management tools that will support to understanding of the data collected, the results found and to propose solutions that can bring benefits to the city and the state where the studies were conducted.

KEYWORDS: dimensional stones, market, civil construction.

1. INTRODUÇÃO

A gama de setores que constituem o eixo econômico da Região Metropolitana de Natal desde serviços e suas tecnologias, indústria têxtil, turismo e até a construção civil impulsionam a urbanização e o avanço populacional-imobiliário da cidade do Natal, que por sua vez acompanham a tendência de desenvolvimento territorial do Brasil, a partir do final do século XX, como defende o clássico Santos (1993) ao falar do crescimento das metrópoles nordestinas. Com constantes iniciativas de investimentos dos órgãos do estado e alguns tempos de instabilidades financeiras, Natal passou por variações no ritmo da indústria de construção civil, mesmo que o setor, atualmente, esteja em período turbulento, o que não pode ser contraposto é o potencial construtivo que a capital do estado possui.

Haja vista o que Da Silva & De Araújo Ferreira (2007) discorrem sobre as ocupações e o crescimento imobiliário associado a indústria do turismo em Natal, inclusive com a introdução do termo “turismo imobiliário”, é cabível afirmar a demanda contínua da população turística e fixa que os empreendimentos para construção, tanto ligados às iniciativas de investimentos

governamentais para infraestrutura e planos habitacionais como de capitais privados em construção imobiliária e de serviços, precisam ser preenchidas.

Os dados fornecidos por séries de artigos do jornal local, Tribuna do Norte (2011, 2013, 2015), mostram a alta taxa de instabilidade que a esfera de construção civil enfrenta, uma hora incentivada pelo turismo e crescimento populacional e em momentos deficitários pelo cenário econômico regional. Assim, os materiais de construção imprescindíveis para o desenvolvimento do setor, também precisam acompanhar a convergência da indústria que os tem como exigência. Os elementos para edificações estão ligados aos recursos minerais, desde materiais de base até os de acabamento possuem conteúdo de rochas e minerais industriais, como por exemplo, areia industrial, brita, gesso, cal, materiais cerâmicos e rochas ornamentais são partes essenciais constituintes do setor de construção civil.

As rochas ornamentais, são definidas pela Sociedad de Investigación y Explotación Minera de Castilla y León (2008) como as pedras naturais que foram selecionadas, dimensionadas ou cortadas em forma ou tamanho com superfícies processadas mecanicamente, em particular são comercializadas de forma que diferem dos demais materiais e requerem conhecimento específico em aplicação para revestimento, ornamentação, além de muitas vezes exigir tecnologia e conhecimento em manejo para cortes e redimensionamentos das peças de rocha para o ambiente designado pelo cliente.

Com o auxílio das proposições levantadas notam-se alguns contratempos para o investidor em vendas de rochas ornamentais na cidade do Natal/RN, os fatores mercadológicos (fornecedores, necessidades e demandas dos clientes, precificação do produto), econômicos (crise, investimentos, impostos, setor primário e industrial, política de preço do petróleo), sociais (qualificação profissional e tecnológica) e logísticos (origem do produto, distância, condições de transporte) são prováveis barreiras para a prosperidade das empresas organizadas no sentido de suprir o potencial da construção civil do município e seus entornos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo principal

Mediante as problemáticas apresentadas, essa produção de caráter científico tem como objetivo principal associar ou atribuir a situação mercadológica de rochas ornamentais na cidade do Natal/RN a partir de uma abordagem de fatores logísticos.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos secundários giram em torno do principal, almejando constatar e mostrar que o processo produtivo e a sistemática de distribuição em entregas das rochas ornamentais são reais obstáculos para os empreendedores. Somado a isso, pretendem apresentar os fluxos das mercadorias de rochas ornamentais, realçando o caminho do local de extração até o cliente final. E por último, objetivam sugerir alternativas e melhorias conforme as necessidades constatadas ao longo da pesquisa.

3. METODOLOGIA

Os métodos científicos para elaboração do conjunto pesquisado no artigo e na exploração de discussões e resultados, bem como, de conclusões são envolvidos pelo caráter exploratório-descritivo e qualitativo, onde o pesquisador busca obter maior conhecimento sobre a problemática e tema em estudo através de métodos investigativos para identificar e entender soluções e constatações inerentes as hipóteses iniciais (GIL, 2007).

Inicialmente foram levantadas hipóteses para a definição da problemática a ser estudada, com base nisso, foram desenvolvidos os questionamentos a serem trabalhados que viriam a ser aplicados nas empresas do ramo de atacado e varejo de rochas ornamentais.

Para a discussão foram utilizados os dados coletados, através do roteiro de entrevista, em pesquisa de campo que aconteceu da seguinte forma, em ordem cronológica, respectivamente: identificação das empresas-alvo em Natal/RN, totalizando vinte empresas de pequeno a grande porte, entretanto, os autores somente obtiveram retorno de dez delas; aplicação do roteiro contendo dez itens direcionados; tabulação, contabilização e classificação dos dados.

Logo após essa etapa foi realizada a análise dos dados através de recursos gráficos e esquemáticos, ademais, foi imprescindível o emprego da Análise de Cenário idealizada por Humprey (1960) que destaca forças, oportunidades, fraquezas e ameaças de uma empresa ou de um mercado, e que ainda, pôde classificar a importância de um item para qualificação em

parâmetros e seu entendimento, que por sua vez, possibilitaram um encadeamento lógico para uma série de conclusões, o procedimento metodológico do trabalho pode ser entendido em suma na Figura 1.

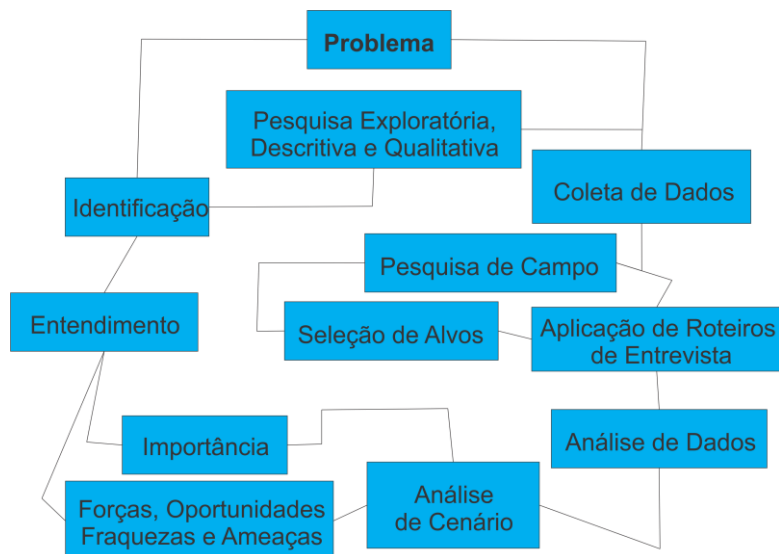


Figura 1 - Mapa mental de metodologias do presente trabalho, indicando continuidade entre entendimento e identificação da problemática (Elaboração dos autores)

4. DISCUSSÕES E RESULTADOS

4.1 Origem das rochas ornamentais comercializadas

Por meio da aplicação das ferramentas metodológicas foi possível analisar a origem das rochas ornamentais consumidas na cidade do Natal/RN. Se durante as hipóteses realizadas na contextualização do presente trabalho houve a citação da dificuldade para a obtenção de rochas ornamentais, durante os questionamentos essa foi constatada. Verifica-se que das dez empresas consultadas, apenas três compram no estado do Rio Grande do Norte, seis compram algum material na região Nordeste, sendo os estados nordestinos citados como fornecedores: Pernambuco, Piauí, Paraíba, Ceará e Bahia, e o que já era pressentido pelo prestígio desse estado como referência em fornecimento de rochas ornamentais – apenas duas empresas não compram no Espírito Santo (Figura 2).

Majoritariamente, o pólo produtivo e exportador de Cachoeiro de Itapemerim/ES foi citado como fornecedor. Outros centros como os de Campina Grande/PB, Castelo/PI, Parelhas/RN,

Equador/RN, Ouro Branco/RN, de várias cidades do Ceará e da Bahia e de núcleos de transbordo e distribuição, como Fortaleza/CE e Recife/PE, foram mencionados como fornecedores frequentes.

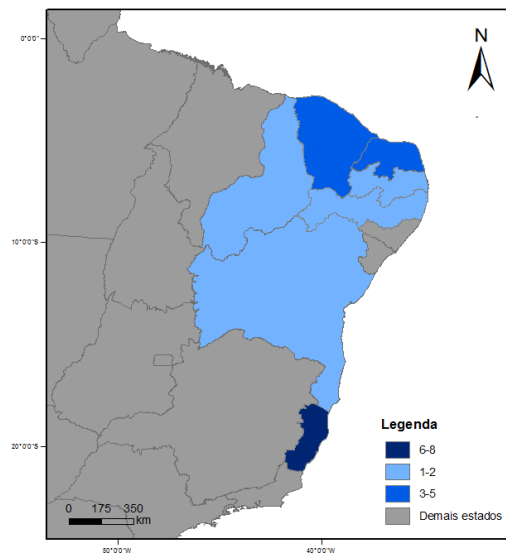


Figura 2 - Mapa de frequência de fornecimento de rochas ornamentais para a cidade de Natal/RN. Classes: Demais estados (estados sem fornecimento); 6-8 (Fornecer de 6 a 8 empresas); 3-5 (Fornecer de 3 a 5 empresas); 1-2 (Fornecer entre 1 e 2 empresas) (Elaboração dos autores)

A justificativa que foi dada para o diminuto número de rochas provenientes do estado potiguar em 55,5% foi que no estado não há variedades de tipologias litológicas suficientes, 22,2% acredita que o preço no estado do RN é alto, 11,1% disseram que não há nenhuma empresa que possa aproveitar o potencial extrativo regional e outros 22,2% corroboraram que não haviam fornecedores ou material que a clientela demanda. O que vale ser ressaltado é que 70% das empresas já compraram no estado do Rio Grande do Norte, e que desse total 42,9% já comprou no município de São Rafael/RN.

Em contraponto a isso, muitas das empresas prefeririam comprar rochas ornamentais no estado ao invés do ambiente externo, visto os pontos negativos de importar de outros estados, tais como, distância, custo alto de frete, atraso na entrega, necessidade de grande deslocamento para efetivar transação, impostos altos (entre eles, o que foi mais comentado foi o ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços), carga completa é muito lenta, frete de baixa qualidade e produtos danificados (no transporte). Entre o saldo negativo e o positivo para as empresas, as vantagens de se comprar fora torna a empresa mais competitiva no mercado local, sabendo que há menor custo, mais variedades, peças diferenciadas e bom atendimento, as organizações buscam a qualidade dos produtos de rochas ornamentais fora do estado.

4.2 Visão e análise do cenário mercadológico de rochas ornamentais

O mercado de vendas rochas ornamentais da cidade do Natal/RN é bem diversificado e espalhado territorialmente nas zonas do município, das dez empresas consultadas cinco se localizam na zona sul, três na zona leste e duas na zona oeste. A julgar pela facilidade de acesso que os pesquisadores tiveram de entrar em contato com os empreendimentos respondentes, que demonstraram comunicabilidade e permissividade, de fato, vale a pena enfatizar que o relacionamento da empresa com a clientela é uma poderosa arma de *marketing* de vendas. Outros fatores também interferem na conquista do mercado-alvo, sendo eles: a qualidade do produto, o preço ofertado e a propaganda do produto. Esses realmente definem o posicionamento da empresa na praça pesquisada no caso, o nicho da grande Natal.

Em relação a concorrência das empresas entre si, 70% responderam que possuem muitos concorrentes, já quatro das dez empresas afirmam estabilidade ou bom posicionamento no mercado, mesmo que haja disputa desleal com empresas ilegais (sem cadastro nos órgãos competentes). Pode-se fazer uma associação do porte da empresa com o custo em logística de transportes, ou seja, foi visto que quanto maior é o porte da carga a ser transportada menor é a influência do preço do frete, a comparação pode ser feita através da resposta de duas empresas que cotaram de forma média o valor do frete. A primeira, por exemplo, cotou o custo médio de R\$ 2.000,00 por carga, enquanto na mesma proposição, a segunda citou o valor de R\$ 12.000,00, sendo assim, a magnitude média de carga da segunda pode ser maior que a primeira, aferindo de igual forma o tamanho das empresas. Outra situação que pôde ser analisada através dos dados fornecidos é a relação entre o preço do frete e o preço final do produto, das quatro empresas que responderam, os valores dados foram: 10-15%; 25%; 40% e 50%. Portanto, a taxa de variação média entre o custo de frete e o preço final do produto definida pelo questionário é de 32,5%.

O dimensionamento final das peças que serão revendidas depende exclusivamente do seu público alvo, se serão em chapas, em pisos ou de ornamentações gerais demandadas por obras de pessoa física ou construtoras. Atualmente em Natal, como em outras metrópoles, as rochas ornamentais de revestimento prevalecem nos mais modernos edifícios comerciais e estabelecimentos de serviços, em contraposição às obras residenciais mais comuns, que em sua maioria ainda são utilizados os revestimentos cerâmicos. A venda para pessoas físicas ou jurídicas é, aproximadamente, equivalente, uma vez que sete das dez empresas vendem para pessoas físicas e oito para pessoas jurídicas (pequenas empresas de construção e grandes construtoras), ou

seja, 50% dessas vende para os dois públicos, demonstrando que há uma diversificação no perfil de venda das empresas em Natal.

Uma ferramenta de gestão que pode configurar o perfil da conjuntura do mercado de vendas de rochas ornamentais em Natal/RN é a Análise de Cenário (Figura 3), traçando forças, oportunidades, ameaças e fraquezas, esse estudo permite a visualização geral do ambiente e de como ele está inserido nas proposições do trabalho, além de possibilitar a identificação de características positivas e negativas para o setor de vendas.

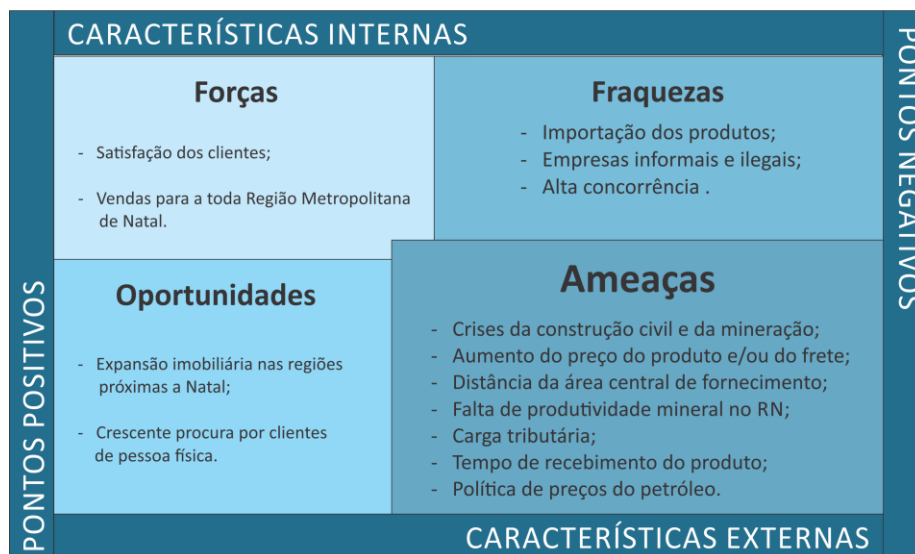


Figura 3 - Análise de Cenário do mercado de vendas de rochas ornamentais da cidade do Natal/RN

(Elaboração dos autores)

Os próprios entrevistados apontaram que uma vantagem do mercado local é a satisfação dos clientes, entretanto esse relato esconde uma situação alarmante, o principal estado fornecedor de rochas ornamentais é o Espírito Santo, ou seja, a própria produção local não consegue satisfazer o mercado a prova disso é que no conjunto de rochas ornamentais citadas pelas empresas só foram citadas de rochas de jazidas externas ao estado do RN, tais como, Granito Verde Ubatuba, Mármore Travertino e Pedra Travertino Antique.

A maioria dos pontos fracos do mercado está relacionada ao ambiente competitivo local, onde os empresários reclamam de comércios informais e ilegais, que, por não sofrerem tanto impacto advindo da tributação conseguem oferecer um produto mais barato, além da concorrência desleal dessas empresas a concorrência própria do mercado é considerada alta.

Em relação ao mercado de construção civil foi relatada uma crise devido a crescente dificuldade de crédito para financiamento imobiliário, fato que ameaça a sobrevivência de todo setor. Além disso, o setor mineral passa por dificuldades em questões legais e ambientais,

competição do preço das commodities com a China, falta de investimentos públicos em infraestrutura e a política de preços do petróleo que afeta no preço dos combustíveis, óleos utilizados em manutenção de maquinário e no setor de transporte, pneus e outros materiais derivados, ou seja, enquanto no exterior o preço do petróleo cai, no Brasil o preço sobe. Apesar disso, ainda há oportunidades de crescimento no mercado de rochas ornamentais natalense, como, por exemplo, a retomada da expansão imobiliária na cidade e seu entorno. Outro ponto que pode alavancar seu consumo é a crescente procura dos clientes de pessoa física que devido à crise do mercado de construção civil procuram reformar as suas residências ao invés de comprar uma nova.

5. CONCLUSÕES

Recorrendo às análises procedidas anteriormente, verificam-se inúmeros assuntos circulantes de problemáticas do que em relação ao torno que tange relações favoráveis a questão mercadológica na cidade do Natal/RN, como se já não bastasse as dificuldades intrínsecas ao mercado, o setor ainda conta com obstáculos externos, como foi visto ao longo do trabalho. Além das frequentes crises econômicas e da dificuldade do manuseio do produto, os varejistas e atacadistas de materiais de construção, em especial os de rochas ornamentais, sofrem intensas dificuldades com a aquisição dos recursos para venda de forma rentável, mesmo que existam polos de produção mineral na Região Metropolitana de Natal e no restante do estado do Rio Grande do Norte, os produtos muitas vezes podem não atender as especificações solicitadas pelo mercado e pela empresa.

Quanto à importação advinda de outros estados como solução a situação preocupante de abastecimentos outros impasses aparecem, como: a distância dos pontos de fornecimento, a tecnologia de beneficiamento no RN e a qualidade dos modais para transporte dos produtos. Em síntese, o que pode ser visualizado em contrariedade ao mercado nos fatores logísticos está representado na Figura 4 através do esquema de cadeia de suprimento.

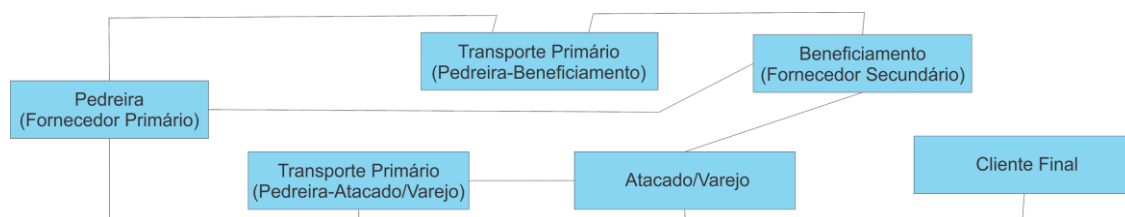


Figura 4 - Cadeia de Suprimento do mercado de rochas ornamentais em Natal/RN (Elaboração dos autores)

De acordo com a análise de cenário desenvolvida nesta pesquisa o ambiente possui mais ameaças que são de difícil solução, pois, vem de um contexto externo. Sendo assim, caberia aos agentes externos trabalharem nessas mudanças, como por exemplo, na redução de carga tributária, nos investimentos em tecnologia de beneficiamento e indústria de base e na melhoria da malha rodoviária ou na reativação da malha ferroviária. Agora para os empresários, poderiam ser tomadas medidas como a profissionalização da gestão e aperfeiçoamento da gestão de custos para uma precificação mais exata.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DA SILVA, Alexsandro Ferreira Cardoso; DE ARAUJO FERREIRA, Angela Lúcia. **Novas dinâmicas imobiliárias e redefinição da estrutura territorial - O caso da área metropolitana de Natal/RN**. Anais: Encontros Nacionais da ANPUR, v. 12, 2007.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

HUMPREY, A. **SWOT-Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats**. Standford University, v. 1970, 1960.

SANTOS, Milton. **A urbanização brasileira**. 5. Ed. São Paulo: HUCITEC, 1993.

SIEMCALSA - Sociedad de Investigación y Explotación de Minera en Castilla y León. **La Piedra Natural de Castilla y León**. España: Domènech e-learning multimedia, S.A. 2008. Disponible en: http://ocw.usal.es/ciencias-experimentales/rocas-industriales/contenidos/la_piedra_natural.pdf

TRIBUNA DO NORTE: **Imobiliárias de Natal comemoram resultados**. Natal, 03 set. 2011. Disponível em: <<http://tribunadonorte.com.br/noticia/imobiliarias-de-natal-comemoram-resultados/194571>>. Acesso em: 25 fev. 2016.

TRIBUNA DO NORTE: **Lagoa Nova: Novo Eldorado de Natal**. Natal, 24 ago. 2013. Disponível em: <<http://tribunadonorte.com.br/noticia/lagoa-nova-novo-eldorado-de-natal/259201>>. Acesso em: 25 fev. 2016.

TRIBUNA DO NORTE: **Construção civil do RN tem quase 500 demissões por mês**. Natal, 13 nov. 2015. Disponível em: <<http://tribunadonorte.com.br/noticia/construa-a-o-civil-do-rn-tem-quase-500-demissa-es-por-ma-s/329628>>. Acesso em: 25 fev. 2016.

POTENCIAL GEOLÓGICO E MERCADOLÓGICO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS DO ESTADO DA PARAÍBA

*Arnaldo Bezerra Lopes de Almeida*¹

¹ Especialista em Recursos Minerais, Departamento Nacional de Produção Mineral

arnaldo.almeida@dnpm.gov.br

RESUMO

O segmento de rochas ornamentais e de revestimento, embora tenha visto as crises financeiras mundiais, experimentou na última década um dos maiores crescimentos do setor mineral brasileiro, proporcionado tanto por novos tipos de utilização destes materiais na paisagem urbana, quanto em função dos avanços tecnológicos que permitiram o aproveitamento e a difusão de diversas rochas anteriormente não comercializadas. O estado da Paraíba possui reservas de granitos ornamentais com alta diversidade e características comparáveis às de regiões produtoras de maior tradição no setor. Este estudo foi realizado evidenciando os principais locais de extração de rochas ornamentais na Paraíba, além dos aspectos econômicos e legais. O estado da Paraíba é muito promissor para a produção de rochas ornamentais, dado que grande parte de sua extensão territorial é constituída por áreas onde aflora o embasamento cristalino pré-cambriano, apresentando grande diversidade de tipos de rochas, especialmente aquelas consideradas exóticas. Os tipos de granitos ornamentais paraibanos são de grande aceitação pelo mercado internacional e, portanto, apresentam grande capacidade de geração de divisas. O estado oferece facilidades de escoamento da produção através de vias rodoviárias e ferroviária, acesso fácil aos jazimentos, baixo custo operacional de extração, pequena espessura do capeamento e facilidade de exportação através dos portos de Cabedelo, na Paraíba, ou de Suape, em Pernambuco. Os principais entraves tecnológicos que ainda persistem no estado são: conhecimento incipiente da geologia na escala de jazida, operações inadequadas à legislação vigente, planejamento e tecnologia de lavra inadequados, pouca oferta no mercado interno de materiais de alto desempenho para corte e beneficiamento (tais como fio diamantado, resinas e abrasivos), inexistência de normatização e certificação de desempenho tecnológico de chapas e peças acabadas, inexistência de controle de qualidade de processo e produto e nível de capacitação de recursos humanos muito baixo. Para se firmar como importante região produtora

de rochas ornamentais, o estado precisa melhorar os aspectos estratégico, econômico, gerencial, financeiro, competitivo, tecnológico e mercadológico das empresas que atuam no setor. É fundamental criar um programa de pesquisa geológica básica, formar recursos humanos, estimular as empresas exportadoras de blocos para que realizem o beneficiamento e a exportação de rochas processadas e adotar programas de tratamento dos efluentes oriundos da produção.

PALAVRAS-CHAVE: Rochas ornamentais, rochas revestimentos, granitos ornamentais

ABSTRACT

The segment of ornamental and coating, but has seen the global financial crises experienced in the last decade one of the highest growth rates of the Brazilian mineral sector, providing both new types of use of these materials in the urban landscape, as in the light of technological advances allowed the use and dissemination of various rocks previously marketed. The state of Paraíba has ornamental granites reserves with high diversity and characteristics comparable to producing regions of greatest tradition in the sector. This study was performed showing the main ornamental stone extraction sites in Paraíba, in addition to economic and legal aspects. The state of Paraíba is very promising for the production of ornamental rocks, as much of its land area consists of areas where touches the Precambrian crystalline basement, with great diversity of rock types, especially those considered exotic. The types of paraibanos ornamental granites are widely accepted by the international market and therefore have great capacity to generate foreign exchange. The state provides drainage facilities of production through road and railway routes, easy access to bentonite deposits, low operating cost of extraction, small thickness of the capping and ease of export across the Cabedelo port, Paraíba, or Suape in Pernambuco. The main technological barriers that still persist in the state are: incipient knowledge of geology at the field scale, inadequate operations to current legislation, planning and inadequate mining technology, in short supply in the domestic market of high performance materials for cutting and processing (such as diamond wire, resins and abrasive), lack of standardization and technological performance certification sheets and finished parts, lack of process control and product quality and very low human resource capacity level. To establish itself as a major producing region of ornamental rocks, the state needs to improve the strategic aspects, economic, managerial, financial, competitive, technological and marketing companies operating in the sector. It is essential to create a basic geological research program,

training human resources, encourage exporters blocks to undertake the processing and export of processed rocks and adopt treatment programs of effluents from production.

KEYWORDS: Ornamental stones, coating Stones, ornamental granites.

1. INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais e de revestimento constituem um dos segmentos de maior crescimento no setor mineral brasileiro, com um incremento médio na pauta de exportação superior a 10% ao ano, proporcionado tanto por novos tipos de utilização destes materiais na paisagem urbana quanto em função dos avanços tecnológicos que permitiram o aproveitamento e difusão de diversas rochas anteriormente não comercializada.

Neste contexto, o estado de Paraíba, apesar de vir apresentando nos últimos anos, índice negativo para o setor, possui reservas de granitos ornamentais com tipos e características iguais ou até melhores que outras regiões já conhecidas.

Este foi o motivo que despertou o interesse pelo trabalho, com intuito de divulgar o setor e alertar o governo estadual, federal, órgãos de fomento e de desenvolvimento industrial, da necessidade de criar programas de pesquisa geológica básica, como também incentivos fiscais e créditos para compra de maquinários, que permitam a qualificação da mão de obra do empresariado e conseqüentemente a abertura de novas frentes de lavra e indústrias de beneficiamento.

Isto seria uma das alternativas para diminuir a elevada taxa de desocupação, contribuindo para tirar o estado da situação em que se encontra e transformar num grande polo graniteiro, gerando empregos diretos e indiretos e fixando o homem no seu lugar de origem.

2. METODOLOGIA APLICADA

Após terem sido consultadas as referências bibliográficas sobre rochas ornamentais e de revestimento obtidas nas bibliotecas do DNPM, CPRM, UFPE, UFCG e dos artigos publicados pela ABIROCHAS, CETEM, FIEP, ABNT, entidades estaduais, teses de mestrado, doutorado, revistas científicas, Anais dos Simpósios de Geologia, Congressos de Rochas Ornamentais, sites da internet,

dentre outros, bem como foram coletados os dados oficiais relacionados estatística mineral obtidos nos bancos de dados do Departamento Nacional da Produção Mineral, especificamente, os visualizadores RALs 2002 a 2010 e Anuário Mineral Brasileiro (AMB).

Foram realizadas diversas visitas técnicas a pedreiras de rochas ornamentais em atividade e paralisadas no estado da Paraíba, tendo como objetivo obter informações sobre os métodos de lavra, tecnologia de corte para o desmonte de blocos, tipos litológicos atualmente em exploração, tipos em fase de pesquisa, além dos parâmetros relativos aos estudos petrográficos e ensaios de caracterização tecnológica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CONCEITUAÇÃO DO BEM MINERAL E DAS ETAPAS PRODUTIVAS

As rochas ornamentais e de revestimento também podem ser chamadas de pedras naturais, rochas lapídeas ou rochas dimensionais. Elas são divididas em dois grandes grupos: “mármore” e “granitos” e respondem por 90% da produção mundial de rochas ornamentais. Os granitos são classificados como rochas silicáticas, e de modo geral, são rochas ígneas, intrusivas e cristalinas, de textura granular, contendo como minerais essenciais feldspato e quartzo, enquanto que os mármore como rochas carbonatadas de origem sedimentar. Esses termos têm sido consagrados na indústria e abrangem um grande número de rochas utilizadas na construção civil, sem que em termos geológicos correspondam a uma definição exata daquelas rochas (Heider, Roberto, & Mata, 2009).

Segundo Vidal, citado por (Souza V., 2008), as atividades do segmento de rochas ornamentais incluem toda a cadeia produtiva do setor de mineração, desde a pesquisa mineral, que busca o conhecimento geológico dos depósitos, até a correta escolha do método e tecnologia de lavra a ser utilizada na mina, passando pela extração e beneficiamento.

O processo produtivo envolve a extração de matéria-prima na forma de blocos, seu desdobramento por serragem e a preparação de produtos semiacabados (chapas), ou finais (placas dimensionadas, ladrilhos, objetos decorativos), nas próprias serrarias ou em marmorarias

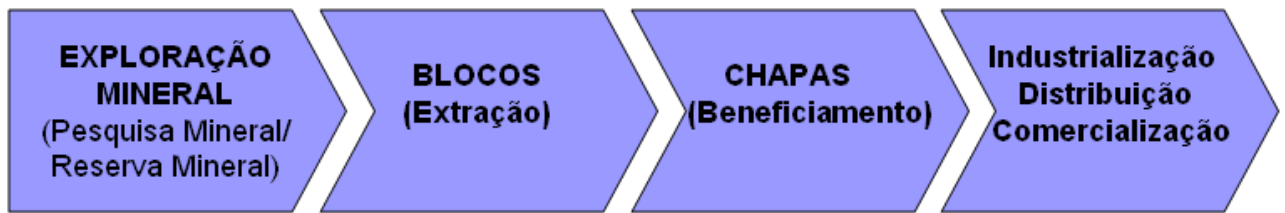
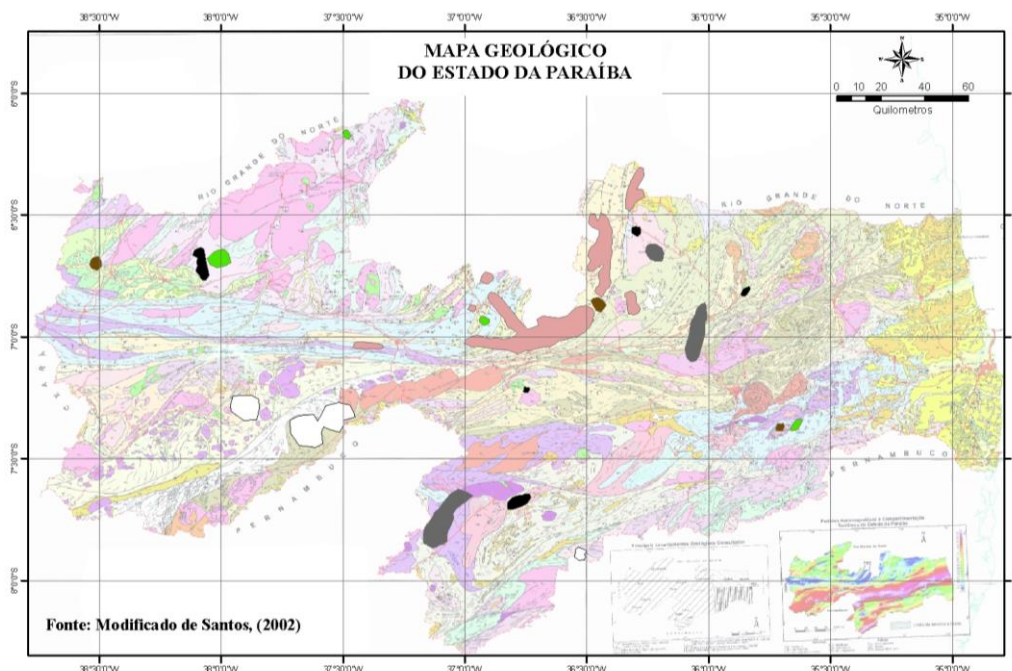


Figura 01: Fluxo produtivo simplificado da cadeia de rochas ornamentais.

Fonte: Souza, 2005.

3.2 POTENCIAL GEOLÓGICO DA ROCHAS ORNAMENTAIS DA PARAÍBA

De acordo com Santos (2002), o subsolo paraibano é formado em sua maior parte por rochas pré-cambrianas, as quais cobrem cerca de 80% de sua área. Esse substrato pré-cambriano está incluído na Província Borborema, de idade meso a neoproterozóica, representada no Estado pelos seguintes domínios geotectônicos: subprovíncia Rio Grande do Norte, subprovíncia Transversal; e uma pequena porção da faixa Orós-Jaguaribe. Zonas de cisalhamento, principalmente de idade neoproterozóica, separam esses domínios tectono-estratigráficos e constituem as principais feições geotectônicas do Estado.



Mapa 01: Mapa geológico do Estado da Paraíba. As áreas marcadas evidenciam o potencial para a produção de rochas ornamentais, de acordo com a sua cor. Fonte: Modificado de Santos (2002).

Assim, geologicamente, o estado paraibano está localizado na Província da Borborema, formadas por rochas do Sistema de Dobramento do Nordeste, mais propriamente rochas dos

Sistemas Seridó, Jaguaribe, Pajeú e Piancó-Alto Brígida, pertencem ao embasamento cristalino, de idades pré-cambrianas. (Anjos, 1996).

Os principais depósitos de rochas ornamentais paraibano estão localizados nas unidades pré-cambrianas. É o caso dos granitos movimentados, de alto valor comercial no mercado externo, provenientes dos gnaisses, migmatitos e pegmatitos; e dos granitos homogêneos oriundos das intrusões ácidas a básicas, gerando rochas com cores e padronagens interessantes para o mercado externo, conforme mostra a mapa 01 acima.

Os granitos Amerelo Fuji, Amarelo Fortuna, Gold Fuji, Gold Light, Chocolate Bordeaux, Max Bordeaux, Quatro Estações, Juparaíba, entre outros, são todos nomes comerciais de jazidas, originadas em sua grande maioria pelos diques de pegmatitos, que possuem coloração que vão desde os *Bordeaux* até os brancos, passando ainda pelos granitos amarelos e róseo, presentes no complexo gnáissico migmatítico, têm grande quantidade de feldspatos cálcicos ou potássicos, sendo a padronagem de cores e movimentação desses tipos de rara beleza e de alto grau de interesse no mercado externo e podem ser encontrados na porção centro norte do território paraibano.

As áreas com possibilidades de se encontrar granitos verdes, denominados comercialmente de Granito Verde Brasil, que são charnoquitos e ocorrem de forma intrusiva nos gnaisses migmatizados e o Verde Macambira ou *Sand Cover*, são feições encontradas nas rochas calciossilicáticas classificadas como Escarnito e estão caracterizadas na porção noroeste do estado, especificamente no alto sertão paraibano. Existem também, outra áreas características de rochas esverdeadas como os granitos Rey Imperial e Verde Itatuba, que são rochas de aspecto conglomerático, com componentes petrográficos de dimensões variadas envolvidos por uma matriz fina, arcoseana a meta-pelítica, meso a melanocrática, características da porção centro-leste do estado paraibano.

As áreas com potencial para a produção dos granitos marrons, especificamente as rochas encontradas no extremo oeste do estado, no alto sertão paraibano, denominadas comercialmente de Granito Marrom Madeira, que são rochas originárias da Formação Antenor Navarro, constituída de sedimentos imaturos, mal selecionados e angulosos incluindo conglomerados brechóides com seixos de blocos de rocha de origem magmática e metamórfica, com uma matriz arenosa com cimento argiloso, por vezes siltíticos, leitos de argilitos, siltitos e arenitos finos intercalados nesses sedimentos.

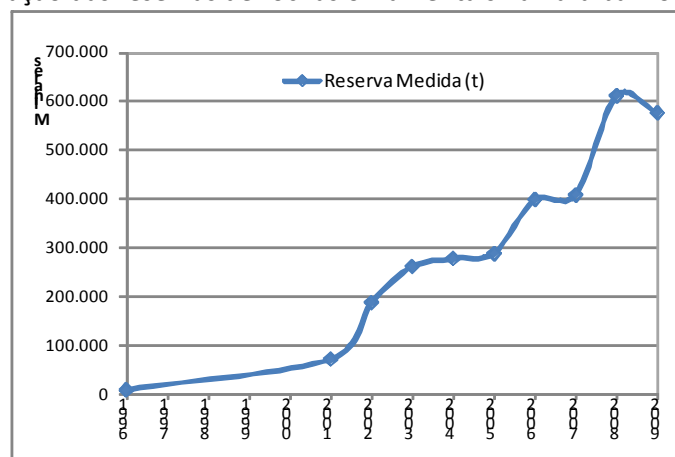
Comercialmente, os granitos mais conhecidos e de maior penetração no mercado são o Preto São Marcos, localizado 9 km a sudeste da cidade de Casserengue, cuja coloração é o preto; o Branco

Imaculada, localizado 9 km a sudeste da cidade de Imaculada, o verde Rei Imperial, localizado 9 km a sudeste da cidade de Santa Luzia e os granitos *Bordeaux* de um modo geral, localizados disseminadamente nos município de Picuí, Nova Palmeira, Pedra Lavrada e Santa Luzia

3.3 RESERVAS MINERAIS

Segundo Anjos (1996) as reservas da Paraíba, em comparação com os demais estados produtores, ainda são pequenas, haja vista as poucas pesquisas desenvolvidas, sendo quantificadas em 8.030.922 m³ em 1996. A partir daí, o comportamento das reservas de rochas ornamentais no estado da Paraíba desenvolveu-se conforme observado no Gráfico 01 a seguir chegando a 610.589.148 t em 2008.

Gráfico 01: Evolução das reservas de rochas ornamentais na Paraíba. Fonte: AMB-DNPM.



Assim, verificam-se três situações: a) entre 2001 a 2003: aumento das reservas aprovadas em função da ação do trabalho de força tarefa no DNPM-PB, por servidores de outras superintendências do DNPM; b) Entre 2003 a 2005: registra-se que praticamente não houve aumento de reserva, em função da ausência de mão de obra específica no DNPM-PB com finalidade de análise e aprovação; e c) Em 2006, após a posse de novos servidores no DNPM-PB a mão de obra contratada passou a trabalhar no passivo processual e a consequência foi o aumento das reservas até o ano de 2008, onde, por motivos mercadológicos, fez que com os empresários parassem os investimentos em pesquisa, consequentemente, novas jazidas pararam de serem descobertas e aprovadas pelo DNPM.

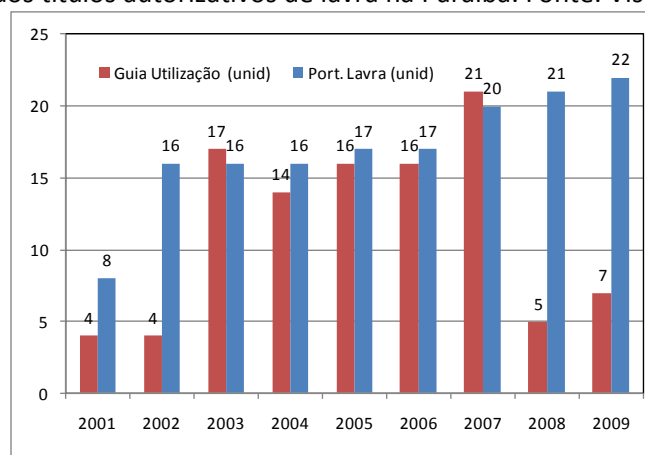
Somados aos fatores descritos acima, temos a contribuição para aumento das reservas de rochas ornamentais na Paraíba, o desenvolvimento tecnológico a partir do ano 2000, ou seja, como as reservas de granito descobertas são de alto valor agregado e, em sua grande maioria, são de origem pegmatítica, esses por si só não têm boas características tecnológicas. Como o avanço da

tecnológico do beneficiamento, por exemplo a na resinagem para polimento diminuindo sensivelmente o problema de escamação das micas e principalmente aos ataques químicos; o envelopamento do bloco para serragem, minimizando sensivelmente a perda de blocos por desagregação; e a tecnologia de telagem fazendo com que aumente sensivelmente a resistência mecânica da peça beneficiada, todos esses avanços favoreceram a busca e utilização das rochas disponíveis nesse estado da Paraíba.

3.4 CARACTERIZAÇÃO LEGAL DA EXTRAÇÃO.

No Gráfico 2 observa-se a evolução dos títulos autorizativos de lavra de rocha ornamental. Tomando como referência inicial o ano de 2001, visualizam-se oito portarias de lavra e quatro guias de utilização, esses diplomas legais foram evoluindo no passar dos anos até atingir 24 portarias de lavra em 2009. Notadamente, observamos o comportamento da guias de utilização que se manteve constante nos anos de 2001 e 2002, e deu um salto quantitativo em 2003, mantendo-se basicamente constante até 2006.

Gráfico 2: Evolução dos títulos autorizativos de lavra na Paraíba. Fonte: Visualizador RAL (DNPM).

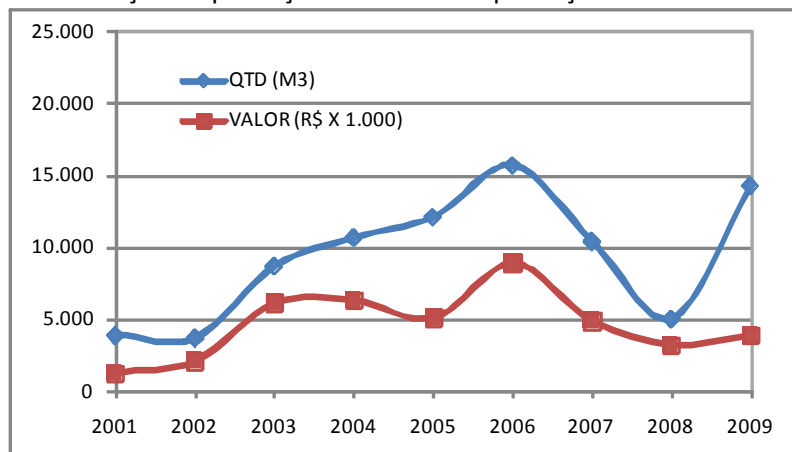


Devido à crise econômica deflagrada nos EUA no ano de 2008, observa-se que a quantidade de pedreiras que operavam com a autorização por guias de utilização apresentou uma grande redução em 2008 e 2009, tendo em vista a falta de mercado consumidor externo para as rochas ornamentais, inviabilizando a produção desses materiais, fazendo com que as pedreiras fossem paralisadas temporariamente.

O Gráfico 3 apresenta a evolução da produção extrativa do setor (em m³) e o respectivo valor da produção (em milhares de reais). Ao analisar esse gráfico, nota-se que entre 2003 e 2006, o setor experimentou um sensível aumento de produção, tendo em vista o aquecimento das vendas para o

EUA e Europa. Entre os anos de 2006 e 2008 a crise financeira deflagrou no principal mercado consumidor das rochas paraibanas, que é o mercado imobiliário norte americano, fazendo com que o setor de rochas ornamentais experimentasse uma expressiva queda nas exportações e, conseqüentemente, na produção.

Gráfico 3: Evolução da produção e do valor da produção. Fonte: AMB – DNPM.



4. CONCLUSÕES

O Estado da Paraíba é extremamente promissor para a produção de rochas ornamentais, haja vista grande parte da extensão territorial é constituída por áreas geologicamente favoráveis ao embasamento cristalino pré-cambriano. Os tipos de granitos ornamentais paraibanos mostram-se favoráveis principalmente a uma aceitação pelo mercado internacional e, portanto, apresentam grande capacidade de geração de divisas.

O estado oferece ainda facilidades de escoamento da produção, através de vias rodoviárias e ferroviária, acesso fácil aos jazimentos, baixo custo operacional de extração, devido à pequena espessura do capeamento e facilidade de exportação através dos portos de Cabedelo ou de Suape, este em Pernambuco

O estado possui vocações para se revigorar como importante região produtora de rochas ornamentais. Para que isso aconteça será necessário superar vários obstáculos, ainda existentes, tais como: melhorias nos aspectos estratégicos, econômicos, gerenciais, financeiros, competitivos, tecnológicos e mercadológicos das empresas que atuam no setor e para o incremento do segmento de rochas ornamentais no estado devem ser considerados os seguintes aspectos:

- Criação de uma política governamental para o setor, visando sanar os gargalos que encarecem a produção, propiciando um aumento da competitividade do produto, o que poderá resultar, em futuro próximo, em um significativo aumento da pauta de exportação.

- Apoio e realização de estudos abrangendo o mapeamento geológico dos maciços rochosos com potencial para produção de rochas ornamentais. Convém mencionar que a atual perspectiva do mercado sinaliza para a diversificação da carteira de novos tipos de rochas a serem comercializadas, o que induz a necessidade da pesquisa geológica básica e a abertura de novas jazidas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS. (1997). Situação Atual e Diagnóstico do Setor de Rochas Ornamentais do Nordeste. In: E. B. PEREIRA, F. A. ROBERTO, & M. AMARAL, Estudo Econômico Sobre Rochas Ornamentais (Vol. 05). Fortaleza, Ceará, Brasil: Instituto Euvaldo Lodi.

ANJOS, F. T. (1996). O Setor de Rochas Ornamentais no Estado da Paraíba. Recife, Pernambuco, Brasil.

FILHO, C. C. (2001). Situação e Perspectivas Brasileiras no Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimento. In: Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais; Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste. Salvador.

HEIDER, M., ROBERTO, F. A., & MATA, P. M. (2009). Economia Mineral do Brasil. In: A. F., & C. P., Economia Mineral do Brasil (p. 764). Brasília-DF: Cidade Gráfica e Editora.

PEREIRA, E. B., AMARAL, M., & ROBERTO, F. A. (1997). Estudo Econômico Sobre Rochas Ornamentais. Fortaleza, Ceará, Brasil: Instituto Euvaldo Lodi.

ROBERTO, F. A. (1998). Rochas Ornamentais do Estado do Ceará: Prospecção Pesquisa, Lavra, Beneficiamento e Mercado. Dissertação de mestrado . Fortaleza, Ceará: UFCE.

SANTOS, E. J. (2002). Geologia e Recursos Minerais do Estado da Paraíba. Recife: CPRM.

SOUZA, V. C. (2008). Diagnostico do Setor de Rochas Ornamentais do Estado de Pernambuco. Recife: UFPE.

PREVENÇÃO DE SILICOSE NA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Raul Zanoni Lopes Cançado¹, Antonio Eduardo Clark Peres²

¹ Professor Titular, DEMIN UFMG

² Professor Titular, DEMET UFMG

aecperes@demet.ufmg.br

RESUMO

As atividades de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais para utilização como materiais de construção, obras de arte e monumentos têm um papel significativo na economia do Brasil. O acabamento final dos blocos é realizado por um grande número de pequenas e médias empresas. O maior risco ambiental no ambiente de trabalho das empresas envolvidas no acabamento de rochas ornamentais é a exposição dos trabalhadores a poeiras que representam risco ao sistema respiratório. A doença mais comum dessa classe é a silicose, pneumoconiose causada pela inalação de poeiras ambientais contendo sílica livre cristalina. Silicose é doença crônica, não tem tratamento, apresenta evolução progressiva e é irreversível, levando à morte. Devido à importância e gravidade da silicose e ao grande número de trabalhadores expostos a poeiras ambientais agências governamentais de diferentes níveis (municipal, estadual e federal) têm trabalhado conjuntamente para melhorar as condições de trabalho no segmento de rochas ornamentais. Este artigo descreve a política que tem sido adotada para minimizar os riscos de silicose, a metodologia de caracterização de sílica livre de poeira ambiental e os limites de exposição ocupacional.

PALAVRAS-CHAVE: silicose, sílica livre cristalina, limites de exposição.

ABSTRACT

The activities of quarrying and transforming rocks for utilization as construction materials, works of art and monuments play a significant role in the Brazilian economy. The final finishing of the blocks is performed by a large number of small and medium size companies. The major health

hazard observed in the work environment of companies engaged in the finishing of dimension stones is the exposure of workers to dusts that represent risks to the respiratory tract. The most common disease of this class is silicosis, a pneumoconiosis caused by inhaling environmental dusts containing crystalline free silica. Silicosis is chronic, can not be healed, presents progressive evolution, and is irreversible, leading to death. Due to the importance and seriousness of silicosis, and to the large number of workers exposed to environmental dusts, government agencies at different levels (municipalities, states, and federal) are working together aiming at improving the work conditions in the dimension stones segment. This paper describes the policy that has been adopted to minimize the risks of silicosis, the methodology of characterization of crystalline free silica in environmental dusts, and the limits of exposure.

KEYWORDS: silicosis, crystalline free silica, exposure limits.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o uso de rochas ornamentais foi introduzido por colonizadores portugueses e a tradição foi conservada por outros imigrantes europeus.

Os principais tipos de rocha lavrados são granito, mármore, quartzito e ardósia.

O maior risco observado em ambientes de trabalho ligados à produção de rochas ornamentais é a exposição a poeiras, favorecendo ao desenvolvimento de doenças das vias respiratórias. A mais importante delas é a silicose causada pela inalação de poeiras contendo sílica livre cristalina. Silicose é uma doença pulmonar crônica e irreversível, apresentando evolução progressiva e levando a incapacidade para o trabalho, invalidez com acentuada tendência a tuberculose e câncer pulmonar.

O problema é especialmente sério nas operações de corte e polimento de rochas ornamentais. Uma parceria tem sido estabelecida entre agências federais, estaduais e municipais visando melhorar as condições de trabalho. A FUNDACENTRO, através da portaria 43/2008, implantou diversas medidas de controle para prevenção da silicose em marmorarias do estado de São Paulo. Esta atividade apresenta alto risco de silicose e representa uma das prioridades do Programa Nacional e Eliminação de Silicose, PNES.

A caracterização de partículas atmosféricas de sílica livre, em relação a níveis de concentração e tamanho de partículas, é da maior importância para as tomadas de decisão visando à definição de medidas de controle para reduzir a quantidade desse poluente e, conseqüentemente, eliminar a silicose em atividades de corte e polimento na indústria de rochas ornamentais.

Neste trabalho é apresentada a metodologia utilizada na determinação da concentração e distribuição granulométrica das partículas de sílica livre cristalizada presentes no aerodispersoide bem como os limites de tolerância em locais de trabalho.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Silicose

Silicose é uma pneumoconiose causada pela inalação de poeiras contendo sílica cristalina de qualquer um de seus tipos: quartzo, cristobalita e tridimita. Trata-se de uma fibrose pulmonar nodular que, em geral, pode requerer anos a décadas para se manifestar. A doença progride mesmo após a interrupção da exposição (Lippman, 1986). Embora se trate de uma enfermidade ocupacional antiga (primeiros relatos no século XIX), silicose ainda mata milhares de trabalhadores e milhares de novos casos são diagnosticados em cada ano em todo o mundo, especialmente em países em desenvolvimento nos quais atividades envolvendo exposição a sílica livre são executadas.

Estatisticamente, partículas menores 10 μm são mais propensas a penetrar nos alvéolos, de onde macrófagos tentam removê-las. Entretanto essas partículas de sílica livre cristalina se fraturam e matam os macrófagos. Os tecidos pulmonares reagem produzindo nódulos fibrosos e cicatrizes circundando as partículas de sílica retida. A formação de um grande número de cicatrizes após longa exposição torna a superfície alveolar menos elástica, reduzindo a capacidade respiratória.

2.2 Sílica em rochas ornamentais

Quartzo é o principal mineral em rochas ígneas, por exemplo, granito. Por serem extremamente resistentes a alterações mecânicas e químicas, grãos de quartzo produzidos por fratura e intemperismo natural de rochas podem se acumular durante longos períodos de tempo e

então formar tanto rochas sedimentares (arenito, por exemplo) ou associar-se com feldspato e moscovita formando outras rochas. Assim sendo, corte e polimento de granito, mármore, ardósia são atividades que geram grandes quantidades de poeira, aumentando o risco de silicose e outras doenças do sistema respiratório.

A Tabela 1 resumiria a correlação entre as rochas ornamentais mais importantes e as prováveis doenças do sistema respiratório que podem afetar os trabalhadores expostos a poeiras de partículas atmosféricas.

Tabela 1. Correlação entre rochas ornamentais e doenças do aparelho respiratório

Tipos de rocha	Minerais componentes	Doenças do aparelho respiratório
granito (I)	predominância de quartzo	silicose; sílico-tuberculose; silicose nodular; fibrose; aumento e endurecimento dos nódulos linfáticos; nódulos silicóticos no baço
quartzito (S)		
arenito (S)		
ardósia (M)		
calcário (S)	calcita + quartzo	bronquite; enfizema; cicatrizes pulmonares;
mármore (M)	dolomita + quartzo	dermatite; queimaduras cáusticas; ulceração na pele;
dolomito (S)	dolomita	danos a conjuntiva e córnea; toxicidade acentuada quando calcinada para propósitos industriais

I rocha ígnea, M rocha metamórfica, S rocha sedimentar

2.3 Políticas para luta contra silicose no corte de rochas ornamentais

Considerando que não há cura para a silicose, as políticas de saúde relativas a esta doença são focadas na prevenção. A mais efetiva é evitar que o trabalhador inale partículas suspensas contendo sílica livre através de planos de ações no ambiente de trabalho.

No Brasil, as ações para estabelecimento do PNES (FUNDACENTRO, 2002) tiveram início em dezembro de 2000. O PNES propõe uma ampla faixa de ações concordantes com os critérios estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde (WHA) e Organização Internacional do Trabalho (ILO). Cooperação entre agências governamentais, sindicatos, associações de empregadores, universidades, associações de proteção ambiental e especialistas em segurança e saúde ocupacional tem sido estimulada. Vale aqui ressaltar a portaria 43/2008 elaborada pelo grupo

técnico da FUNDACENTRO, que estudou e implantou diversas medidas de controle para a prevenção da silicose em marmorarias do estado de São Paulo.

3. METODOLOGIA PARA CARACTERIZAÇÃO DE SÍLICA LIVRE ATMOSFÉRICA

A determinação da concentração e distribuição granulométrica de partículas de sílica livre presentes em poeira ambiental é da maior relevância para o monitoramento e tomada de decisões pelas companhias produtoras de rochas ornamentais, envolvendo ações tais como uso de equipamentos de proteção individual, mitigação do efeito do poluente, definição do período de trabalho entre outros (Cançado, 1996).

Nas próximas seções é descrita a metodologia adotada para a caracterização de sílica livre cristalizada presente em poeira ambiental.

3.1 Amostragem de poeira contendo sílica livre

A estratégia de amostragem consiste no planejamento da coleta de amostras representativas da exposição dos trabalhadores. Com base nos objetivos previamente determinados, alguns parâmetros são definidos, tais como: tipo, duração e frequência da amostragem, pontos de coleta e número de amostras.

Os procedimentos de coleta envolvem a preparação de filtros de amostragem, acessórios e bombas. Cuidados são requeridos em relação a aspectos tais como:

- i. a bomba deve ser instalada na cintura do trabalhador, por meio de um cinto, de forma que a atividade em execução não seja prejudicada;
- ii. uma mangueira tipo Tygon deve ser ajustada na entrada da bomba, sendo a outra extremidade conectada no sistema de coleta;
- iii. a mangueira deve ser instalada ao longo das costas do trabalhador de forma que a bomba fica de um lado e o sistema de coleta do outro;
- iv. a mangueira e o sistema de coleta deve ser fixado na roupa do trabalhador por uma presilha, para evitar acidentes e posicionamento;
- v. a zona de coleta deve estar próxima da zona de respiração do trabalhador;

- vi. para avaliar a poeira respirável, o sistema de coleta deve conter o suporte do filtro e o ciclone e, para determinação da poeira total, somente o suporte do filtro, ou cassete, é necessário;
- vii. o tempo de amostragem é função da quantidade de poeira coletada devendo ficar na faixa entre 0,10 mg e 2,0 mg.
- viii no início e término da operação de coleta de poeira no ambiente de trabalho, a vazão deve ser medida e a diferença entre ambas não poderá ser superior a 5% (poeira respirável) e 10% (poeira total);
- ix. após a coleta os cassetes devem ser fixados em caixas de isopor para impede-los de movimentar, evitando assim perdas de material pelas paredes do suporte de filtro. Os cassetes devem ser imediatamente enviados para o laboratório de análises.

3.2 Análise por difração de raios X de sílica livre em poeiras ambientais

A análise por difração de raios X de partículas de sílica livre presentes em poeiras ambientais é executada segundo os seguintes estágios:

- i. determinação do peso da amostra de poeira, coletada no filtro da membrana de PVC, por análise gravimétrica;
- ii. calcinação do filtro a 800°C e dispersão do resíduo calcinado em água destilada sob banho ultrassônico;
- iii. adição de um padrão interno de fluorita (CaF_2);
- iv. deposição do resíduo calcinado em um filtro de PVC-acrilonitrila;
- v. verificação da presença de espécies de sílica livre cristalina (quartzo, cristobalita, ou tridimita) e de outras fases, que possam causar interferência de matriz, por difração de raios X;
- vi. determinação do teor de cada fase de sílica livre presente na amostra, por comparação com a curva de calibração adequada.

Os valores dos picos de difração mais intensos (d), para radiações $\text{CuK}\alpha$, das fases cristalinas de sílica livre, são apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Picos de difração e distâncias interplanares de fases cristalinas de sílica livre

Mineral	2 θ	d	2 θ	d	2 θ	d
	primário	primário	secundário	secundário	terciário	terciário
quartzo	26,66	3,34	20,85	4,26	50,16	1,82
cristobalita	21,93	4,05	36,11	2,49	31,46	2,84
tridimita	21,62	4,11	20,50	4,33	23,28	3,82
fluorita	47,1	1,93	28,3	3,15	55,7	1,65

2 θ = ângulo de difração de raios X; d = distância interplanar

3.2 Análise de distribuição de tamanhos

A determinação da distribuição de tamanhos é feita em analisador baseado no princípio laser. As razões para seleção do equipamento foram baseadas na rapidez do método e no baixo custo do equipamento. O aparelho é fornecido com três conjuntos de lentes que permitem análises em três diferentes faixas: 350 μm a 1,80 μm ; 87,0 μm a 0,45 μm ; 35,0 μm a 0,18 μm (faixa mais largamente utilizada). O analisador é interfaciado com um computador e os sinais captados pelo detector são transferidos e arquivados como dados, sendo então processados segundo o modelo baseado na teoria de Fraunhofer (Sympatec, 1985). A desvantagem do uso desse modelo para poeiras ambientais é a necessidade de massa de amostra ≥ 200 mg. Se informações sobre a composição química são requeridas, microscopia eletrônica de varredura deve ser utilizada.

A Tabela 3 apresenta a distribuição granulométrica de amostra de poeira ambiental típica coletada em instalação de corte e polimento de rocha ornamental.

4. LIMITES DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

Diversos estudos epidemiológicos indicam que os limites de exposição ocupacional (LEO) não são suficientes para prevenir a ocorrência da silicose crônica. Estima-se que pelo menos um em 100 trabalhadores desenvolvem alterações radiológicas durante sua vida laboral quando expostos a concentrações de sílica cristalina acima dos limites de tolerância recomendados.

No Brasil, os LEOs para sílica livre cristalina foram fixados pela norma regulamentadora nº 15, anexo 12, estabelecida pela portaria nº 3214 de 08 de junho de 1978. Esses limites permanecem

sem revisão até hoje, sem considerar que diversas substâncias passaram a ter indicação de potencial carcinogênico como é o caso da sílica.

Tabela 3 - Distribuição granulométrica de amostra de poeira ambiental típica coletada em instalação de corte e polimento de rocha ornamental (granito)

Diâmetro médio(μm)	Percentagem cumulativa passante
0,45	0,07
0,90	0,43
1,55	1,40
2,50	3,69
5,25	15,26
10,50	42,16
15,00	60,25
30,50	88,04
61,50	100,00

4.1 Cálculo dos limites de tolerância brasileiros para sílica livre cristalina

Volume de ar amostrado

$$V = (Q_m \times t)/1000 \quad (1)$$

V = volume em m^3

Q_m = vazão média em L/min

t = tempo total de amostragem em min

Vazão média: a norma recomenda que o erro percentual entre vazão inicial e final seja menor que 5% (poeira respirável) e 10% (poeira total) e que a mesma seja de 1,7 L/min para coleta de poeira respirável e de 1,5 L/min para poeira total.

Concentração da amostra

$$C = m/V \quad (2)$$

C = concentração em mg/m^3

m = massa em mg

Limites de tolerância (LT) em mg/m^3

poeira total: todo particulado abaixo de 100 μm suspenso no ar

poeira respirável: todo particulado abaixo de 10 µm suspenso no ar

poeira total

$$LT = 24/(\% \text{ quartzo} + 3) \quad (3)$$

poeira respirável

$$LT = 8/(\% \text{ quartzo} + 3) \quad (4)$$

$$\% \text{ quartzo} = (m_q/m_t) \times 100\% \quad (5)$$

m_q = massa de quartzo na amostra (obtida por DRX) em mg

m_t = massa total da amostra em mg

Em resumo:

$C \geq LT \Rightarrow$ alto risco de silicose

$C < LT \Rightarrow$ baixo risco de silicose

Para os limites de segurança das fases cristobalita e tridimita é recomendável usar 50% do valor encontrado nas fórmulas dos LTs utilizados para a fase quartzo.

5. CONCLUSÕES

A metodologia para determinação do teor de sílica livre cristalina e distribuição de tamanho de partículas presentes em poeira ambiental, proposta pelo Programa Nacional de Eliminação de Silicose é o principal aspecto relativo a tomadas de decisão visando ao controle desse poluente na indústria de rochas ornamentais.

O cálculo da concentração da poeira leva em consideração a massa total de amostra coletada, em vez de considerar a massa de sílica livre contida no material.

As fórmulas para os cálculos dos limites de tolerância para poeira respirável e poeira total mostram que mesmo em casos de ausência total de sílica livre, os respectivos limites de tolerância são diferentes de zero.

A portaria 43/2008 deve ser estendida a todos os estados brasileiros.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cançado, R. Z. L. **Caracterização de sílica livre em poeira ambiental**. Tese de doutorado. CPGEM UFMG, Belo Horizonte, Brasil (1996)

FUNDACENTRO. **Programa Nacional de Eliminação de Silicose**. Disponível em <http://www.fundacentro.gov.br/silicaesilicose>, 12/06/2002.

Lippmann, M. Respiratory tract deposition and clearance of aerosols. In: S.D. Lee, **Aerosols: Research risk assessment and control strategies**. USA, Lewis Publishers (1986) p. 43-57

Sympatec GmbH. **Operation Manual**. Germany (1985)

ANÁLISE PRELIMINAR DA QUALIDADE DO AR NO MUNICÍPIO DE CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM/ES

Carlos M. M. e Silva¹, Jefferson L. Camargo², Leonardo L. L. da Silveira³, Rafaela F. P. Alves⁴, João L. N. Coutinho⁵

¹ Professor Associado, Universidade Federal de Pernambuco-UFPE

² Técnico, Centro de Tecnologia Mineral CETEM/MCTI, Núcleo Regional do Espírito Santo-NR-ES

³ Tecnologista, Centro de Tecnologia Mineral CETEM/MCTI, Núcleo Regional do Espírito Santo-NR-ES

⁴ Bolsista BIC, Centro de Tecnologia Mineral CETEM/MCTI, Núcleo Regional do Espírito Santo-NR-ES

⁵ Engenheiro de Minas, Universidade Federal de Pernambuco-UFPE

carlosmagn@ufpe.br

RESUMO

Estudos acerca da qualidade do ar são objetos de pesquisas multidisciplinares devido aos potenciais impactos ambientais que os poluentes atmosféricos (material particulado, principalmente), podem causar ao ambiente e à saúde humana. O presente trabalho trata da avaliação preliminar da concentração de material particulado na atmosfera, no município de Cachoeiro de Itapemirim – ES, Estado do Espírito Santo. Os locais monitorados foram em um bairro residencial (IBC) circunvizinho a uma pedreira de agregados (brita) e, a comunidade do distrito de Itaoca Pedra, conhecida pela importância econômica para o município, pois concentra empresas extrativas e beneficiadoras de calcário. De modo geral, os processos de britagem e moagem provocam a emissão de material particulado, aumentando a concentração no ar ambiente. Assim, o estudo visou realizar medições da concentração de material particulado (PTS- Partículas Totais em Suspensão, Partículas Inaláveis PM₁₀ e PM_{2,5}), partindo do diagnóstico ambiental sobre a qualidade do ar nos locais citados. A metodologia consistiu na instalação, em locais pré-definidos, de Amostradores de Grande Volume – AGV (ou *Hivols*) para medições da concentração de PTS, PM₁₀ e PM_{2,5} no ar atmosférico, de acordo com a legislação vigente (Resoluções CONAMA 05/1989 e 03/1990) e procedimentos de amostragens regidos pelas normas técnicas da ABNT NBR 9547/1997 e NBR 13412/1995 (exceto PM_{2,5} regido *pela Environmental Protection Agency US*), respectivamente. Complementarmente, foram medidas as concentrações

de Materiais Particulados Inaláveis – $MP_{2,5}$, em ambiente *indoor*, utilizando-se Amostrador de Pequeno Volume (*MicroVol*) por se tratar de partículas danosas à saúde humana devido à sua fácil penetração pelo aparelho respiratório. Após análises dos resultados, foi possível verificar que as amostras coletadas nas proximidades da Pedreira de Agregados estão em concentrações abaixo do limite máximo especificado pela legislação vigente. No entanto, a qualidade do ar para PM_{10} é considerada “péssima” na comunidade de Itaoca Pedra, região próxima ao empreendimento mineiro, de acordo com a Resolução CONAMA 03/1990. Ou seja, a concentração medida de PM_{10} foi de $485 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ultrapassa o limite estabelecido para *Padrões Primário e Secundário* ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Diante do exposto, é recomendável adoção de sistema de monitoramento contínuo das emissões de particulados oriundos da atividade de mineração presente na área, visando auxiliar na adoção de medidas de controle ambiental pelas empresas, por conseguinte, à melhoria da saúde do trabalhador e do bem-estar da população.

PALAVRAS-CHAVE: monitoramento ambiental, material particulado, poluição atmosférica.

ABSTRACT

Studies about air quality are objects of multidisciplinary research owing potential impacts of air pollutants (particulate matter, principally), can cause to the environment and human health. The aim of the present study was evaluate particulate matter concentration in atmosphere, in the county Cachoeiro of Itapemirim, located in Espírito Santo state, Brazil. The places monitored were the neighborhood IBC, surrounding of one aggregates quarry (gravel) and Itaoca Pedra district, known for economic importance for the city, because concentrate extractive and processing limestone companies. Generally, the crushing and grinding process cause the particulate material emission, increasing the ambient air pollution. We carry out mensuration of the concentration particulate matter (PTS - total suspended particles, respirable particles MP_{10} e $MP_{2,5}$), leaving ambient diagnostic about the air quality in places mentioned. The methodology was based on installation, in pre-defined locations, sampler high volume (Hivols) for concentration mensuration of PTS, MP_{10} e $MP_{2,5}$ in atmospheric air, according with current legislation (Resolution CONAMA 05/1989 e 03/1990) and procedures sampling governed by technical standards ABNT NBR 9547/1997 and NBR 13412/1995 (except $MP_{2,5}$ governed by Environmental Protection Agency US), respectively. In addition concentration respirable particulate matter - $MP_{2,5}$, was measured in ambience indoor, using sampler small volume (microvolt) because of harmful particles the human health because

your facility penetration in respiratory (lung). After analysis of the results, it was possible to verify that the samples collected nearby aggregates quarry show concentration below the limits specified maximum current legislation. However, the air quality for MP_{10} are considered “bad” at community of Itaoca Pedra, region next mining enterprise, in accordance with Resolution CONAMA 03/1990. That is, the concentration measured of MP_{10} it was $485 \mu\text{g}/\text{m}^3$, exceeds limits established for primary and secondary standards $50\mu\text{g}/\text{m}^3$). Therefore, it is recommended adoption of continuous monitoring for proper evaluation of particulate emission resulting from the mining activity present for area, aiming auxiliary adoption environmental control measures by companies, consequently, the improvement of workers'-health and population' quality of life.

KEYWORDS: Environmental monitoring, particulate matter, atmospheric pollution.

1. INTRODUÇÃO

Considera-se poluente qualquer substância presente no ar e que, pela sua concentração, possa torná-la impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde humana, causando inconvenientes ao bem estar público, danos aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e as atividades normais da comunidade (SILVA, 2015).

A caracterização do grupo poluente serve como indicador da qualidade do ar, adotado universalmente e escolhido em função da frequência de ocorrência e de seus efeitos adversos, desta forma, os principais poluentes são agrupados por grupo químicos de origem, a saber: Material Particulado (MP); Compostos de enxofre (SO_x , H_2S , mercaptanas); Compostos de nitrogênio (NO_x , NH_3 , HNO_3), Monóxido de carbono (CO); Compostos orgânicos (hidrocarbonetos, álcoois, aldeídos, cetonas) e Oxidante Fotoquímicos (O_3) (fonte, ano).

De modo geral, Material Particulado é um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumos, fumaças e mistura de compostos no estado sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera por causa de seu pequeno tamanho. As principais fontes de emissão de particulado para a atmosfera são: veículos automotores, processos de extração e beneficiamento mineral, queima de biomassa, arrasto eólico de poeira e/ou solo exposto, poeiras fugitivas de processos e manuseio, entre outros.

O Material Particulado pode ser classificado como *Partículas Totais em Suspensão (PTS)* - aquelas cujos diâmetros aerodinâmicos equivalentes são menores que $50 \mu\text{m}$, *Partículas inaláveis*

PM₁₀ de diâmetro aerodinâmico até 10 µm e PM_{2,5} de diâmetro aerodinâmico até 2,5 µm. O tamanho das partículas está diretamente associado à sua nocividade para a saúde. Tanto quanto menores os particulados, mais graves os efeitos provocados. Do mesmo modo, este poluente em suspensão poderá reduzir a visibilidade na atmosfera.

No Brasil, a Resolução CONAMA nº 03/1990, estabelece padrões de qualidade e define legalmente o limite máximo para a concentração de um poluente que garanta a proteção da saúde e do bem estar da população em geral: (i) **Padrões Primários** - concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. Podem ser entendidos como níveis máximos toleráveis de concentração de poluentes na atmosfera, constituindo-se em metas de curto e médio prazo; e (ii) **Padrões Secundários** - concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Podem ser entendidos como níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo.

O objetivo do estabelecimento de Padrões Secundários é criar uma base para uma política de prevenção/gestão quanto à degradação da qualidade do ar (local e entorno). Estes devem ser aplicados às áreas de apoio operacional da mina (escritórios, refeitórios, almoxarifado, portarias, etc.), residências, de lazer, estâncias turísticas, parques, área de proteção/preservação ambiental, entre outros. Não se aplicam pelo menos, a curto prazo, para as áreas de desenvolvimento operacional (acessos, cava, circuito de britagem/moagem, balanças, pátios de estocagem e expedição de minérios, usina de beneficiamento etc.). Nestas, devem ser aplicados os Padrões primários (CONAMA nº 03/1990).

Outrossim, estabelecimento de padrões de concentrações de qualidade do ar ambiente mais rigorosos tem sido adotados por países como os Estados Unidos, Austrália, Nova Zelândia, membros da União Européia, bem como pela Organização Mundial de Saúde (OMS, 2006). Estes padrões apontam para uma maior preocupação com as Partículas Inaláveis PM_{2,5}, inexistente no Brasil. E ainda segundo a Resolução CONAMA nº 03/1990, cabe aos estados da federação o monitoramento da qualidade do ar.

Na Tabela 1, a seguir, são apresentados padrões de concentrações de material particulado (PTS, MP₁₀ e MP_{2,5}) adotados pelo Brasil (CONAMA 03/1990), Organização Mundial de Saúde (OMS), Agência de Proteção ao Meio Ambiente dos Estados Unidos da América (EPA), Comissão Européia do Meio Ambiente (ECE), entre outros países.

Tabela 1 – Padrões de Concentrações de Material Particulado no Ar Ambiente (PTS, PM₁₀, PM_{2,5}) adotados em países da Europa, Ásia, Oceania e Américas e os recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS), (INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE, 2012).

PADRÕES	CONCENTRAÇÃO de MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)								
	PTS			MP ₁₀			MP _{2,5}		
	1h	24h	Anual	1h	24h	Anual	1h	24h	Anual
OMS	–	–	–	–	50	20	–	25	10
CONAMA/BRASIL (Padrão primário)	–	240	80	–	150	50	–	–	–
CONAMA/BRASIL (Padrão secundário)	–	150	60	–	150	50	–	–	–
EPA/EUA (Padrão primário)	–	–	–	–	150	–	–	35	15
EPA/EUA (Padrão secundário)	–	–	–	–	150	–	–	35	15
CALIFÓRNIA	–	–	–	–	50	20	–	35	12
ECE/UNIÃO EUROPÉIA (Valor limite)	–	–	–	–	50	40	–	–	–
ECE/UNIÃO EUROPÉIA (Valor alvo)	–	–	–	–	–	–	–	25	25
REINO UNIDO	–	–	–	–	50	40	–	–	–
SUIÇA	–	–	–	–	50	20	–	–	–
AUSTRÁLIA	–	–	–	–	50	–	–	25	8
NOVA ZELÂNDIA	–	–	–	–	50	20	–	–	–
CANADÁ (Máx. Desejável)	–	–	60	–	–	–	–	30	–
CANADÁ (Máx. Aceitável)	–	120	70	–	–	–	–	30	–
CANADÁ (Máx. Tolerável)	–	400	–	–	–	–	–	30	–
CHILE	–	–	–	–	150	50	–	–	–
PERU	–	–	–	–	150	50	–	50/25	–
MÉXICO	–	210	–	–	120	50	–	65	15
JAPÃO	–	–	–	–	200	100	–	35	15
CORÉIA DO SUL	–	–	–	–	100	50	–	–	–
HONG KONG	260	80	–	–	180	55	–	–	–
ÍNDIA (Área D)	–	–	–	–	100	60	–	60	40
ÍNDIA (Área E)	–	–	–	–	100	60	–	60	40

*Áreas D/E – Áreas ecologicamente sensíveis/Áreas industriais, residenciais, rurais e outras áreas.

O Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA, no Estado do Espírito Santo (região Sudeste do Brasil), mostra na Tabela 2, faixas de concentração para cálculo do Índice de qualidade do ar – IQA, norteado pela supracitada Resolução CONAMA 03/1990.

Tabela 2 – Faixa de concentração para cálculo do Índice de qualidade do ar - IQA (CONAMA 03/1990 *apud* IEMA, 2016).

Classificação e Faixas do IQA	PTS Média (24h) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM ₁₀ Média (24h) $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Bom (0-50)	0-80	0-50
Regular (51-100)	81-240*	51-150*
Inadequada (101-199)	241-375	151-250
Má (200-299)	376-625	251-420
Péssima (300-399)	626-875	421-500
Crítica Acima de 400	876-1000	501-600

1.1 Objetivo

O presente trabalho trata da avaliação preliminar da concentração de MP (PTS, PM₁₀ e PM_{2,5}) na atmosfera, em áreas específicas do município de Cachoeiro de Itapemirim – ES, Estado do Espírito Santo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As Figuras 1, 2, 3 e 4, mostram a localização e os pontos/locais monitorados, respectivamente, no bairro residencial circunvizinho a uma pedreira para produção de agregados – Bairro IBC, e a comunidade do distrito de Itaoca Pedra. Este último, conhecido pela importância econômica, devido à concentração de empresas extrativas e beneficiadoras de calcário. De modo geral, os processos industriais destes empreendimentos emitem material particulado, que provocam o aumento da concentração de material particulado na atmosfera. Assim, o estudo preliminar visou realizar medições, partindo do diagnóstico ambiental sobre a qualidade do ar ambiente dos pontos/locais citados.



Legenda: 📍 Pontos monitorados; 📍 Pedreira de agregados.

Figura 1 - Localização dos pontos/loais monitorados nas proximidades da Pedreira de Agregados, Bairro IBC.



Ponto/local PTS;



Ponto/local PM10;



Ponto/local PM2,5.

Figura 2 – Amostradores de Grande Volume – AGV/“HiVol” instalados para medições no Bairro IBC, município de Cachoeiro do Itapemirim/ES.



Legenda: 📌 Pontos monitorados; 📍 Moageiras de calcário instaladas no entorno de Itaoca Pedra.

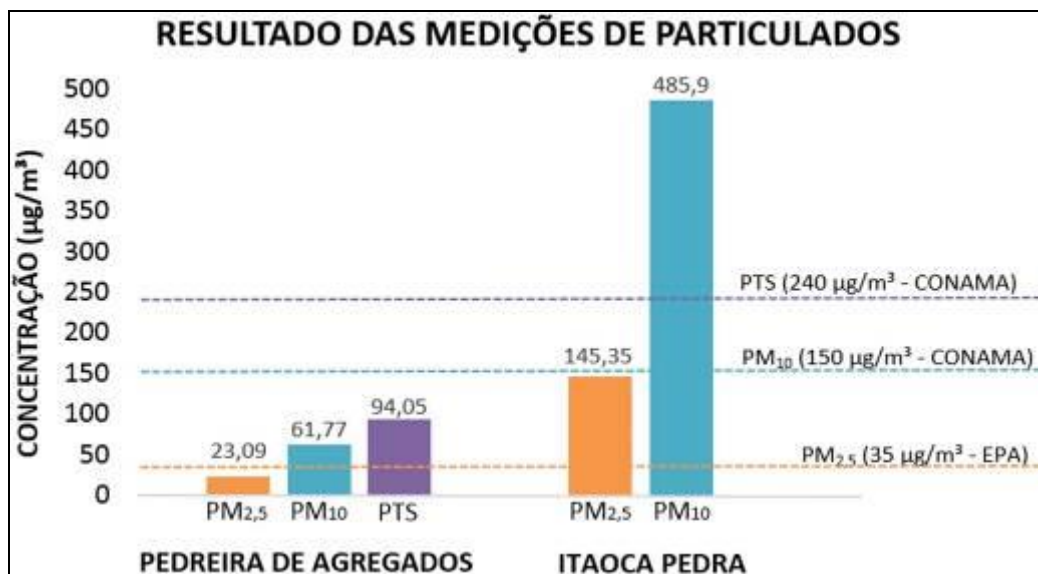
Figura 3 - Localização dos pontos/locais monitorados no distrito de Itaoca Pedra.



Figura 4 – Amostrador de Grande Volume – AGV/“HiVol” instalado para medição de PM10 no ponto/local na Rua Pedro Vivacqua, 59, Distrito de Itaoca Padra, Cachoeiro de Itapemirim-ES.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 5, a seguir, apresenta os resultados obtidos nas amostragens em período de 24h, realizadas nas proximidades da Pedreira de Agregados e no Distrito de Itaoca Pedra, município de Cachoeiro de Itapemirim-ES.



Legenda: - - - - Padrão para PM_{2,5} – EPA, 2010; - - - - Padrão primário e secundário para PM₁₀, Resolução CONAMA, 1990; - - - - Padrão secundário para PTS - Resolução CONAMA, 1990.

Figura 5 – Resultados das medições da concentração de Material Particulado.

Após análises dos resultados, foi possível verificar que as amostras coletadas nas proximidades da Pedreira de Agregados apresentaram níveis de concentrações abaixo do limite estabelecido pela legislação vigente. No entanto, a qualidade do ar para PM₁₀ é considerada “péssima” (CONAMA, 1990) na comunidade de Itaoca Pedra, região próxima ao empreendimento mineiro. Ou seja, a concentração medida de PM₁₀ foi de 485 µg/m³, ultrapassando o limite estabelecido tanto para o Padrão Primário, quanto para o Secundário (150 µg/m³).

Vale salientar que, a concentração de poluentes está fortemente relacionada às condições meteorológicas. Alguns desses fatores naturais que favorecem os altos índices de poluição são: fontes emissoras em direções dos ventos concordantes às fontes receptoras, baixas velocidades de ventos, períodos críticos de inversões térmicas e baixa altitudes. Estes fenômenos são particularmente comuns no inverno, em noites frias e a temperatura tende a se elevar rapidamente durante o dia, provocando alteração no resfriamento natural do ar. A inversão térmica se caracteriza por uma camada de ar quente que se forma sobre a cidade, retendo os poluentes do ar, impedindo assim a dispersão dos mesmos.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos comprova-se que a qualidade do ar na comunidade de Itaoca é claramente afetada pelas moageiras de calcário instaladas no entorno da comunidade, portanto é

recomendável a implantação de um sistema de monitoramento contínuo das emissões de particulados, aliado à adoção de medidas de controle ambiental pelas empresas, visando à melhoria da saúde do trabalhador e do bem-estar da população.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – NBR 3412-1995. Material particulado em suspensão na atmosfera. Determinação da concentração de partículas inaláveis pelo método do amostrador de grande volume acoplado a um separador inercial de partículas.

ABNT – NBR 9547-1997. Material particulado em suspensão no ambiente. Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume.

CONAMA. Resoluções (1/86, 3/90, 5/89). Disponível em <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/fontes-fixas>. Acesso em 02/02/2016.

EPA - U.S. Environmental Protection Agency. Air pollution standards. 2010. Disponível em: www.epa.gov. Acesso em: 17/01/2016.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE, 2012. Padrões de qualidade do ar. Experiência Comparada, Brasil, Estados Unidos e União Europeia, Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/C1CB3034/Estudo_Padros_Qualidade_Ar.pdf Acesso em: 19/01/2016.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – IEMA, 2016. Faixas de concentração para cálculo do Índice de qualidade do ar – IQA, baseado no CONAMA nº03 de 1990. Disponível em <http://www.qualidade.iema.es.gov.br/scripts/sea0513.asp>. Acesso em 01/02/2016.

OMS-World Health Organization. Air Quality Guidelines: Global updated 2005. Disponível em: [www.epa.gov. http://www.wmo.int/pages/prog/www/DPS/Monitoring-home/mon-index.htm](http://www.wmo.int/pages/prog/www/DPS/Monitoring-home/mon-index.htm). Acesso em: 20/01/2016.

SILVA, C. M. M. Monitoramento de Poluentes Atmosféricos: PTS e Inaláveis – Procedimentos. LACAM/UFPE-CETEM. Offprint. Recife/PE. 2015.

WHO-Europe. World Health Organization. Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution. Copenhagen, Dinamarca. 2006.

UNIÃO EUROPÉIA - UE. Directiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa. Jornal Oficial da União Européia de 21 de Maio de 2008.

INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DAS ROCHAS ORNAMENTAIS

Nuria Fernández Castro¹, *Mônica Castoldi Borlini Gadioli*², *Carlos Eduardo Ribeiro Wandermuren*³,

*Abiliane de Andrade Pazeto*⁴

¹ Enga. de Minas, *M.Sc.*, Tecnologista, Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTI

² Enga. Química, *D.Sc.*, Pesquisadora, Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTI

³ Técnico em Mineração, Técnico, Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTI

⁴ Tecnóloga em Rochas Ornamentais, Doutoranda em Geotecnia – EESC/USP

ncaastro@cetem.gov.br

RESUMO

A preocupação com a sustentabilidade fez surgir à abordagem de enfoque sobre o produto. Esse enfoque incide principalmente sobre a função que este produto se propõe a cumprir. Sua concepção depende do chamado ciclo de vida do produto. Quando se fala em ciclo de vida de um produto estamos considerando todas as atividades que vão desde a extração e processamento das matérias-primas, manufatura, transporte e distribuição, uso, reuso, manutenção e disposição final. Todas essas atividades resultam em impactos ambientais devido ao consumo de recursos, emissão de substâncias no meio ambiente e outras trocas ambientais. Nesse âmbito, nos anos 1960 começaram a surgir estudos que analisavam todo o ciclo de vida de um produto. Esses estudos pioneiros são hoje conhecidos como Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que é uma ferramenta de gestão ambiental, normalizada pelas ABNT NBR 14040 e 14044, que visa avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais de um produto, serviço ou de um sistema, desde a aquisição de suas matérias primas até sua disposição final. Ela permite a identificação de oportunidades para intervir no ciclo de vida de um produto objetivando a melhoria da qualidade ambiental. E foi dessa ferramenta e sua metodologia que o Núcleo Regional do Espírito Santo, do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), em conjunto com parceiros, desenvolveu o Inventário do Ciclo de Vida das rochas ornamentais (ICV Rochas), na busca da melhoria dos processos produtivos da indústria de rochas ornamentais, visando melhorar sua competitividade do ponto de vista ambiental. Durante o estudo, foram adquiridos dados primários de consumo dos insumos dos três subsistemas (extração, serragem e polimento) que compõem a cadeia produtiva das rochas ornamentais,

informações essas de empresas representativas para o setor das rochas ornamentais no Estado do Espírito Santo e também a nível nacional. Esses dados foram tratados para certificar-se de sua qualidade e posteriormente foram utilizados para a modelagem do setor em software específico para desenvolvimento de estudos de ACV. O resultado do estudo será apresentado de forma detalhada nesse trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: ACV, Rochas Ornamentais, Sustentabilidade

ABSTRACT

The concern with sustainability has given rise to a focus approach on the product. This approach focuses mainly on the role that this product aims to meet. Its design depends on the so-called product life cycle. When it comes to a product's life cycle we are considering all activities ranging from the extraction and processing of raw materials, manufacturing, transportation and distribution, use, reuse, maintenance and final disposal. All these activities result in environmental impacts due to consumption of resources, emission of substances into the environment and other environmental changes. In this context, in the 1960s they began to emerge studies that analyzed the entire life cycle of a product. These pioneering studies are now known as Life Cycle Assessment (LCA), which is an environmental management tool, standardized by NBR 14040 and 14044, which aims to evaluate environmental aspects and potential impacts of a product, service or system, since the acquisition of its raw materials to its final disposal. It allows the identification of opportunities to intervene in the life cycle of a product aimed at improving environmental quality. This tool and methodology was used by the Regional Unit of the Espírito Santo State, of the Centre for Mineral Technology – CETEM/MCTI, together with partners, to develop the Lifecycle Inventory of natural stones (ICV Stones) in the pursuit of helping the ornamental stone industry to improve its competitiveness from an environmental point of view. During the study, primary data consumption of inputs of three subsystems were acquired (extraction, sawing and polishing) that make up the production chain of ornamental rocks, the information became from representative companies in the sector of ornamental stones in the state of Espírito Santo and also national level. These data were processed to make sure of their quality and were later used for sector specific modeling software to develop LCA studies. The study results will be presented in this work.

KEYWORDS: LCA, Natural Stones, Sustainability

1. INTRODUÇÃO

Reduzir o consumo de energia e recursos naturais não renováveis, proteger a saúde humana e reduzir o impacto ambiental inerente aos processos produtivos é a tônica dominante da inserção da sustentabilidade em todos os setores econômicos da sociedade (TAXIARCHOU & KOSTOPOULON, 2007; ALBINO et al., 2009). A Avaliação do Ciclo de Vida - ACV se apresenta como uma ferramenta promissória nesse sentido, pois é uma técnica para a avaliação dos aspectos ambientais e impactos potenciais inerentes ao ciclo de vida de um produto ou serviço, ou seja, desde a aquisição da matéria prima até sua disposição final, passando pela manufatura e uso. A ACV não somente identifica os aspectos ambientais a serem melhorados ao longo do ciclo de vida, mas também subsidia no marketing do produto e na tomada de decisões na indústria, visando, por exemplo, o planejamento estratégico, a definição de prioridades ou o projeto ou reprojeito de produtos ou processos (ABNT, 2009).

A crise do petróleo dos anos 60 do século passado revelou a necessidade de se avaliar o consumo de recursos naturais e deu início a uma série de estudos que, mediante balanços de massa e energia de processos industriais, mensuravam o consumo de matérias primas e combustíveis e a geração de resíduos (CETEA/ITAL, 2007). Segundo Viana (2008), esses primeiros estudos, do final da década de 60, já seriam o que hoje se conhece como ACV. O estudo pioneiro partiu da iniciativa de uma marca de refrigerantes, nos Estados Unidos, que encomendou um estudo ao *Midwest Research Institute* (MRI) com o objetivo de comparar os níveis de consumo de recursos naturais e de emissões ao meio ambiente de diversas embalagens para refrigerantes. Este tipo de estudo ficou conhecido como *Resource and Environmental Profile Analysis* (REPA) e, em 1974, foi aprimorado pelo MRI durante a realização de um estudo para a *Environmental Protection Agency* (EPA), tornando-se o primeiro estudo de ACV conhecido. A Europa e outros países também desenvolveram as próprias técnicas de avaliação, semelhantes a ACV e, em 1991, foi publicada, pela *International Organization for Standardization* (ISO) a série ISO 14.040 de Avaliação de Ciclo de Vida, adotada também no Brasil pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, em 2001.

À preocupação da sociedade com o esgotamento dos recursos não renováveis e os resíduos gerados, foram se juntando outras de ordem ambiental global ao longo dos anos, (efeito estufa, chuva ácida, desertificação, etc.) e social (falta de água e alimentos), que acabaram se firmando

em nosso atual pensamento de desenvolvimento sustentável. Desde a publicação do relatório Bruntland, em 1987, que define o desenvolvimento sustentável como o que nos permite evoluir social e economicamente, usufruindo dos recursos sem comprometer o meio ambiente e garantindo esse mesmo direito para gerações futuras, milhares de estudos e programas têm sido desenvolvidos com o intuito de quantificar esse desenvolvimento e os impactos ambientais e sociais da utilização dos recursos que a terra oferece. Hoje, quase 30 anos depois, dispõe-se de muitas ferramentas para medir o impacto socioambiental das atividades humanas. No entanto, esses impactos têm grande dependência da localização onde eles acontecem, mesmo que suas consequências tenham contribuição global. Dentre as ferramentas hoje existentes, a técnica de ACV tem se mostrado muito eficiente e está sendo reconhecida como a mais completa para avaliar esse impacto global.

A abordagem do Ciclo de Vida resulta interessante nesse sentido já que, em primeiro lugar, avalia os impactos ao ambiente e à saúde humana em todas as etapas da vida de um produto: sua obtenção, utilização e descarte. Quando se fala em ciclo de vida de um produto, considera-se que todas as atividades necessárias à utilização deste produto, “do berço ao túmulo”, resultam em impactos ambientais e à saúde, devido ao consumo de recursos, emissão de substâncias no meio ambiente e outras trocas ambientais (REBITZER, 2004, apud VIANA, 2008). Assim, esses impactos são quantificados onde eles realmente acontecem (como entradas de matéria prima e energia e saídas em emissões ao meio ambiente), levando-se em consideração a função que o produto exerce ao longo da sua vida e, posteriormente, é feita uma análise e avaliação desses impactos a nível global (impacto na depleção da camada de ozônio, na eutrofização, efeito estufa, dentre outros).

As fases de um estudo de ACV consistem em: definição de seu objetivo e escopo; realização de um levantamento quantitativo de dados (inventário) de todas as entradas (materiais, energia e recursos) e saídas (produtos, subprodutos, emissões, etc) durante todo o ciclo de vida; identificação dos impactos ambientais potenciais ao longo do ciclo de vida; e interpretação dos resultados do estudo. É importante ressaltar que a técnica de ACV tem limitações, que devem ser consideradas tanto na elaboração dos estudos quanto no uso dos seus resultados.

Atualmente, o uso da ACV tem crescido nos países desenvolvidos europeus, na América do Norte e Japão, principalmente no âmbito das empresas de grande porte. Em pequenas e médias empresas, a aplicação da ferramenta não é tão difundida, devido, principalmente, à sua

complexidade, custo elevado e demanda de tempo (LIMA, 2007). Nesses mesmos países, os estudos de ACV têm auxiliado também na geração de políticas públicas.

Por um lado, os resultados dos estudos de ACV, permitem identificar produtos, serviços e processos com maiores impactos e as etapas deles onde acontecem e, como consequência, fornecer informações para melhorar os processos produtivos e para implementar políticas públicas de incentivo a produtos e serviços menos impactantes, visando melhorar a competitividade ambiental das empresas dos países. Ressalta-se que por permitir a comparação de produtos e serviços quanto ao seu desempenho ambiental, também pode servir como barreira comercial tanto para o mercado externo, pois os países podem exigir determinado desempenho ambiental de produtos, como para o interno, já que o consumidor, cada vez mais responsável e consciente, terá a oportunidade de escolher, dentre vários produtos e serviços que possam exercer a mesma função, aqueles com melhor desempenho ambiental.

A maior dificuldade, no entanto, é que para poder se utilizar desta técnica é necessária a existência de bases de dados quantitativos, consistentes, confiáveis e comparáveis. Países desenvolvidos já contam com bancos de dados em diversas bases que só podem ser utilizados em outros países com restrições, já que esses dados são referidos às condições específicas de cada país (matérias primas e processos de produção locais). O Brasil conta com o Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida – PBACV, do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Conmetro, desde 2010, que estabelece diretrizes no âmbito do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - Sinmetro, para dar continuidade e sustentabilidade às ações de ACV no Brasil, com vistas a apoiar o desenvolvimento sustentável e a competitividade ambiental da produção industrial brasileira e a promover o acesso aos mercados interno e externo. Gerido pelo Comitê Gestor do PBACV, formado por representantes do governo, da academia, setores produtivos, organizações comprometidas ao tema ACV e representantes dos Comitês Assessores do Conmetro, selecionou setores prioritários para incentivo à realização de inventários, ponto estratégico para a aplicação do Programa, já que o país não dispunha, à época, de bancos de dados de inventários. Em paralelo à preparação do Programa, foi elaborada a Metodologia Padrão de Elaboração de Inventários e desenvolvido o SICV-Brasil, com o objetivo de oferecer um Banco de Dados de Inventários de Ciclo de Vida da Indústria Brasileira, que possam ser utilizados por outros países e importados por softwares de ACV, de formato harmonizado com outros países seguindo os critérios de qualidade da Internacional *Life Cycle Data Base* - ILCD, criado pela União Européia (IBICT, 2009).

.Por outro lado, um dos setores mais afetados pela responsabilidade socioambiental nas últimas décadas é o da construção civil. De acordo com Arena (2005), dentre todos os empreendimentos da sociedade, o do ambiente construído é o que gera um impacto ambiental mais significativo e que está em constante aumento, devido às crescentes taxas de urbanização. As pressões socioambientais que levaram, inicialmente, à construção de edificações energeticamente eficientes, hoje chegaram a considerações muito mais abrangentes, incluindo a seleção de materiais construtivos em função do impacto ambiental derivado da sua produção e utilização. Tanto é assim que a utilização de materiais que passaram pelo estudo de ACV é um passo importante para se obter a certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), certificação reconhecida internacionalmente, desenvolvida pelo *Green Building Council* dos Estados Unidos. O Brasil, assim como mais 20 outros países, também tem seu *Green Building Council*, certificador do LEED, mas também conta com diversos outros tipos de rotulagem ambiental de produtos, muitos dos quais aceitam a ACV como base para a certificação. De especial interesse para o setor de rochas ornamentais é o programa nacional para avaliar o desempenho ambiental de produtos fabricados no Brasil, elaborado pelo Inmetro e baseado na NBR ISO 14025 de 01/2015 – Rótulos e declarações ambientais – Declarações ambientais de Tipo III – Princípios e procedimentos. A intenção é que, a partir de uma Declaração Ambiental de Produto (DAP), a indústria brasileira consiga demonstrar para mercados no exterior o perfil ambiental de seu produto, baseado na avaliação de seu ciclo de vida (ACV), fornecendo informações sobre suas propriedades ambientais de forma padronizada e objetiva.

Sendo a construção civil o principal destino dos produtos de rochas ornamentais, esse setor produtivo percebeu a oportunidade de melhorar sua competitividade utilizando a ferramenta ACV, e por meio do Centro Tecnológico do Mármore e Granito – CETEMAG procurou recursos junto ao governo para a realização do inventário do ciclo de vida de rochas ornamentais. Esta solicitação foi oportuna no processo de implantação de ACV no Brasil, para o qual um novo estudo piloto de inventário com a participação dos empresários seria mais uma oportunidade para testar e validar a metodologia padrão de inventários já desenvolvida no país, e também para capacitar recursos humanos em ACV.

Neste contexto, o Núcleo regional do Espírito Santo do Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTI que visa auxiliar o setor de rochas ornamentais mediante a inovação tecnológica e melhorias na performance ambiental dos produtos, foi solicitado a elaborar o Inventário de Ciclo de Vida das Rochas Ornamentais, por uma encomenda do Ministério da Ciência, Tecnologia e

Inovação – MCTI. O Inventário foi elaborado no âmbito do projeto “Melhorias tecnológicas, ambientais e energéticas da produção de rochas ornamentais por meio da Avaliação do Ciclo de Vida do Produto – ICVRochas”, financiado pelo CNPq (Processo. 555723/2009-7), em parceria com o Centro Tecnológico do Mármore e Granito – CETEMAG (co-executor), o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia - IBICT (co-executor), Associação Ambiental Monte Líbano – AAMOL, o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO e o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – IFES. Este estudo foi conduzido de acordo com os requisitos das normas NBR ISO 14044, NS-EM 15804:2012 e ISO 14025:2006. O projeto teve início no final de 2009 e finalizado em outubro de 2013. O Inventário elaborado foi validado pelo CETEMAG em 2014. Apresentam-se, a seguir, os resultados obtidos.

2. OBJETIVO

O objetivo deste estudo foi elaborar e modelar o inventário de ciclo de vida de chapas de granito polidas produzidas por associados do Cetemag, aqui caracterizado por três indústrias representativas (empresas P, M e T), em conformidade com as normas ISO14025 e ISO 14040/44, a fim de:

- Caracterizar o desempenho ambiental de uma chapa de granito polida produzida pelos associados do Cetemag, ao longo das etapas do ciclo de vida que descrevem a fase de extração e produção no âmbito de um inventário do berço-ao-portão;
- Ter dados consistentes que estabelecer uma referência do desempenho ambiental deste importante produto de exportação do setor de rochas ornamentais do Brasil;
- Desenvolver o inventário de ciclo de vida da chapa de granito polido para o desenvolvimento de uma declaração ambiental de produto de acordo com as regras de categoria de produto descritas na norma EN15804 para materiais para a construção civil; e
- Responder às demandas de clientes e parceiros sobre informações do desempenho ambiental do produto.

3. METODOLOGIA

O CETEM elaborou a metodologia para o levantamento de dados com orientação do IBICT, coletando-os em campo, metodologia que foi validada por especialistas em ACV para a realização do estudo. Os Procedimentos adotados para o estudo ICV/ACV da chapa de granito polida foram:

Primeiramente, houve reuniões com associados e parceiros do setor para definir a unidade funcional, as fronteiras do sistema, e as empresas que poderiam fornecer a informação. Paralelamente, foram realizados dois treinamentos com os especialistas do CETEM, do IBICT, INMETRO e os parceiros do setor privado e das associações do setor para entender a ferramenta ACV e a modelagem com o software GaBi. O treinamento foi preparado pela Associação Brasileira de Avaliação de Ciclo de Vida (ABCV), contratada pelo projeto ICVRochas (CNPq).

O passo seguinte foi a visita inicial a empresas que poderiam participar do projeto, prévio contato do CETEMAG. Nessa fase, a equipe do CETEM elaborou os questionários a serem utilizados para a coleta de dados, seguindo a metodologia do IBICT, instituição que revisou e aprovou os questionários elaborados. O questionário foi preparado em um documento em Excel®.

A seguir, etapa que consumiu a maior parte do tempo, foi realizada a coleta de dados e organização da informação das empresas. Os dados foram inseridos no GaBi, em modelo elaborado pelo CETEM e com auxílio de consultores. Por último, foi realizada a modelagem dos insumos e do ciclo de vida no GaBi, por consultores contratados pelo projeto ICVRochas (CNPq).

Na modelagem completa foram usados vários parâmetros para modelar as vazões mássicas de diversos materiais com relação às diferentes espessuras das chapas e tecnologias de corte na serragem. Estes parâmetros permitem a variação das vazões mássicas nos processos de entrada e saídas de acordo com a espessura.

4. RESULTADOS – INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DAS ROCHAS ORNAMENTAIS

4.1 Escopo

De acordo com a norma NBR 14040, na definição do escopo de um estudo da ACV devem ser considerados e descritos: a função pretendida do produto, a unidade funcional (quantidade individual mínima do produto inventariado para essa função), o fluxo de referência (número necessário de unidades funcionais para se exercer a função definida), o sistema de produto a ser estudado e as fronteiras do sistema de produto. O objeto do estudo foi o beneficiamento de rochas (sistema de produto) e o produto, a chapa polida. A unidade funcional é uma chapa de granito polida de 5,5 m², de dois ou três centímetros de espessura, com densidade média de 2.700 kg/m³, para exportação. Considerando que os dois tipos de chapa (espessura de 2 cm e

espessura de 3 cm) tem participação semelhante no mercado de exportação, os cálculos foram realizados considerando uma espessura de 2,5 cm, que não é normalmente ofertada pelo mercado, porém o estudo de ICV é representativo das duas.

O produto aqui estudado (chapa polida) é considerado matéria prima de outros produtos e, portanto, a função é disponibilizar 5,5 m² para a produção de diversos produtos (ladrilhos, tampos, pias...). O fluxo de referência foi 1 chapa.

A chapa é produzida nas unidades industriais de beneficiamento de blocos e, por isso, o sistema de produto principal deste estudo é o beneficiamento. Esse sistema inclui dois subsistemas: a serragem dos blocos (beneficiamento primário) e o polimento das chapas obtidas (beneficiamento secundário). Outros subsistemas existentes nas unidades produtivas, como outros tipos de acabamento (apicoamento, flamagem, escovado) não foram abordados no presente inventário.

Como o bloco extraído das pedreiras é a principal matéria prima para a obtenção das chapas de rochas e ainda não há inventário de ciclo de vida de blocos de rochas, esse estudo de levantamento de dados da extração dos blocos foi considerado como sistema de produto auxiliar.

Realizou-se um estudo ICV do berço-ao-portão da chapa de granito polida com dados de 2011 da indústria representativa dos associados do Cetemag. Assume-se que os resultados deste ICV são válidos até que o tipo de tecnologia de corte e produção do bloco de granito e a chapa aqui modelada sejam ainda representativos do setor. As fronteiras do sistema compreendem as quatro principais etapas do ciclo de vida: extração, transporte da pedreira até o beneficiamento, serragem, e polimento, conforme exigido pela norma EN15804 para inventários do berço-ao-portão (Figuras 1 e 2).

Dentro das fronteiras do sistema foram incluídos insumos e matéria-prima, transporte do bloco de granito, energia (eletricidade, diesel), equipamento de operação e processamento de materiais. Cabe destacar que para alguns insumos não foi possível encontrar ICVs na base de dados usada ou informação na literatura internacional; sem embargo, os fluxos foram mantidos como fluxos elementares nos respectivos processos, para futuras atualizações da modelagem.

Das fronteiras do sistema foram excluídos a infraestrutura, processos de manutenção de equipamentos e infraestrutura, tratamento de resíduos (com exceção da separação sólido-líquido para os resíduos finos da lama da serragem e polimento que foi incluída no sistema) e, transporte de insumos e dos empregados.

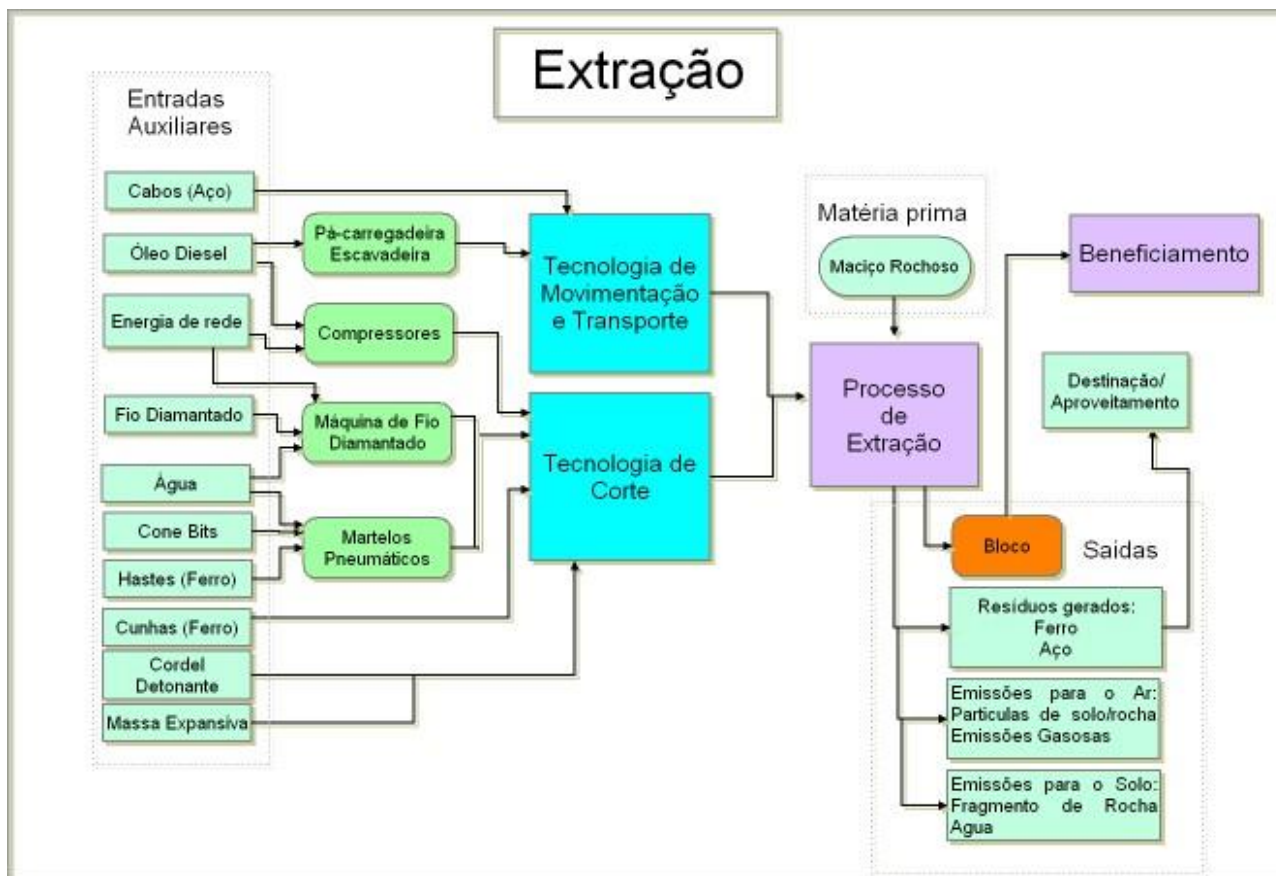


Figura 1 Fluxograma do processo de extração de bloco de granito. CETEM/MCTI, 2013

4.2 Modelagem dos dados

A modelagem das três principais etapas do ciclo de vida (extração, serragem e polimento) utilizou dados primários. Para a modelagem dos insumos foram usados dados secundários sobre sua composição, provenientes do CETEM ou da literatura internacional ou relatórios de firmas consultoras de ICV/ACV, e das bases de dados de ICVs do GaBi. Os processos produtivos de cada uma das etapas de ciclo de vida modeladas neste estudo são representativos no Brasil e no Espírito Santo. Uma vez que o estado de Espírito Santo representa 53,17% do volume de blocos exportados e 93,87% dos produtos manufaturados, pode-se assumir que a produção de chapa de granito polida direcionada para a exportação está retratada neste estudo. Os dados das etapas do ciclo de vida foram medidos *in loco* pela equipe do CETEM ou estimados por especialistas desse Centro, com base em informações fornecidas pelas empresas. Os ICVs dos insumos usados neste estudo estão em conformidade com a Plataforma Internacional de Inventários de Ciclo de Vida (ILCD), pois todos os ICVs são da base de dados do GaBi

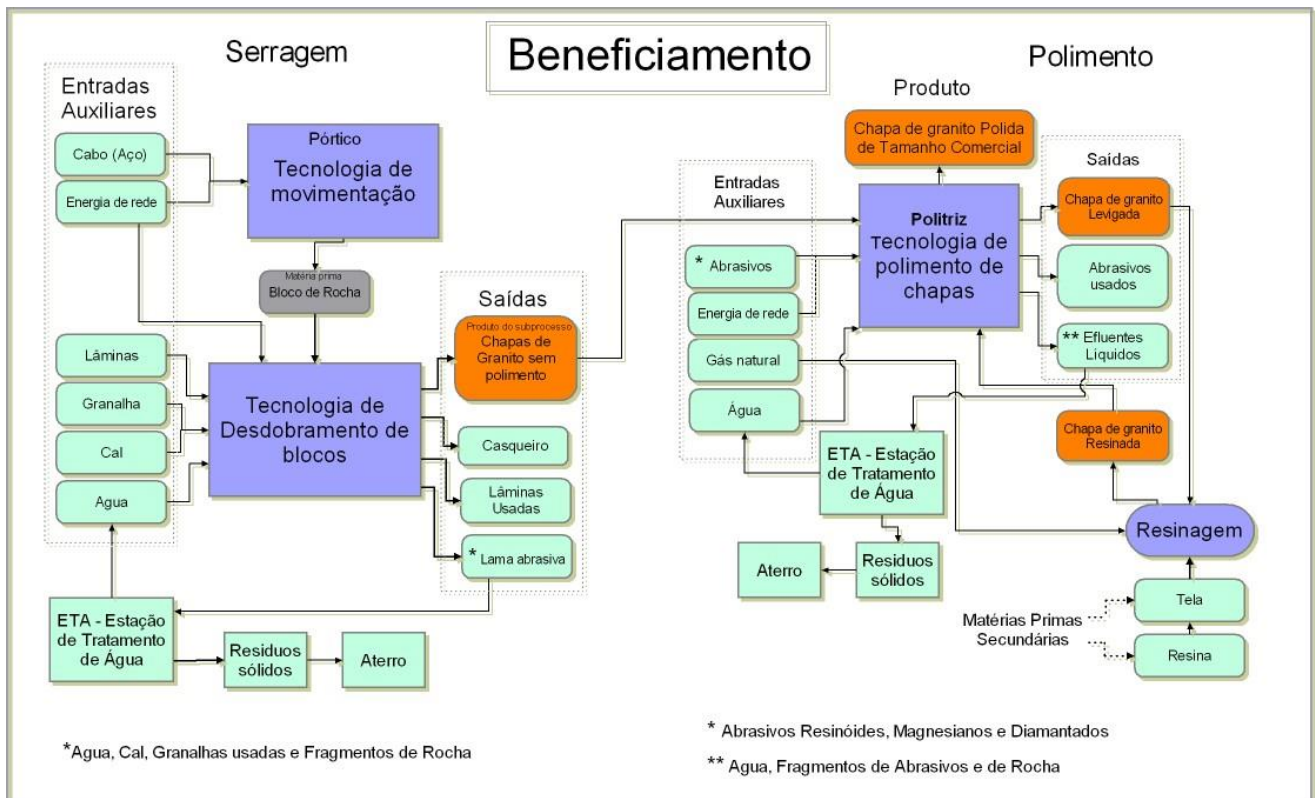


Figura 2 - Fluxograma do processo de polimento da chapa de granito CETEM/MCTI, 2013

4.3 Fluxos mássicos

A Tabela 1 apresenta a relação das frações de massa e energia dos insumos no processo de extração.

Tabela 1 Representatividade mássica e energética por m³ bloco

Insumo	Massa (kg)	%	Energia (kWh)	%
Eletricidade	-	-	0,65	100
Diesel	17,41	91,55	-	-
Fio diamantado	0,13	0,68	-	-
Cordel detonante	0,06	0,34	-	-
Estopim	0,003	0,01	-	-
Espoleta	0,0004	0,024	-	-
Pólvora	0,41	1,28	-	-
Nitrato	0,53	2,79	-	-
Hastes	0,37	1,95	-	-
Cunha	0,06	0,29	-	-
Cabo de aço	0,14	0,71	-	-
Cones bits	0,043	0,23	-	-
Fundo Furo	0,030	0,16	-	-

A Tabela 2 apresenta a relação das frações de massa e energia dos insumos no processo de serragem

Tabela 2 Representatividade mássica e energia por m³ bloco

Insumo	Massa (kg)	%	Energia (KWh)	%
Eletricidade	-	-	221,37	100
Lâmina	14,94	19,29	-	-
Granalha	39,83	51,43	-	-
Cal	7,06	9,12	-	-
Bentonita	14,73	19,02	-	-
Cabo de aço	0,0026	0,003	-	-
Cintas de elevação	0,012	0,02	-	-
Floculante	0,034	0,04	-	-
Coagulante	0,164	0,21	-	-
Graxa	0,53	0,69	-	-
Óleo hidráulico	0,14	0,18	-	-

Na Tabela 3 apresenta-se a relação das frações de massa e energia dos insumos no processo de polimento da chapa de granito por m².

Tabela 3 Representatividade mássica e energia por m² chapa

Insumo	Massa (kg)	%	Energia (KWh)	%
Eletricidade	-	-	5,366	100
Abrasivos diamantados resinoides	0,0078	3,68	-	-
Abrasivos diamantados Metálicos	0,0016	0,76	-	-
Escova diamantada	0,000086	0,04	-	-
Resina	0,107	50,77	-	-
Endurecedor	0,035	16,97	-	-

6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

No contexto da norma ISSO 14040, este estudo consistiu na elaboração do ICV do *berço-ao-portão* da chapa de granito polida com dados de 2011, representativos do setor de rochas ornamentais. As fronteiras do sistema compreendem as quatro principais etapas do ciclo de vida: extração, transporte da pedreira até o beneficiamento, serragem, e polimento, conforme exigido pela norma EN15804 para inventários do *berço-ao-portão*. A reciclagem não foi incluída na cadeia da chapa de granito. No entanto, a utilização de parte dos resíduos gerados no processo de serragem foi modelada. O inventário foi validado em 2014.

A avaliação dos impactos deste inventário está sendo finalizada e, em breve, o estudo de Avaliação de Ciclo de Vida das rochas ornamentais, com dados de 2011, estará completo e, sem dúvida será uma ferramenta de sustentabilidade importantíssima para os produtores.

Os dados do inventário já podem ser utilizados por empresas do setor para obter rótulos ambientais para as chapas polidas de granito, porém, como os dados deste estudo são de 2011 e houve uma grande mudança tecnológica entre 2011 e 2016, recomenda-se fortemente que o inventário seja atualizado para ser mais representativo da situação atual. Também sugere-se aproveitar essa atualização para fazer uma comparação entre as AVC antes e depois do desenvolvimento tecnológico. Por último, recomenda-se continuar com o estudo após o portão da fábrica, ou seja, considerando as etapas posteriores de fabricação dos produtos finais, sua utilização e manutenção até o final da sua vida útil que, no caso das rochas ornamentais, por sua durabilidade, resultará de interesse ambiental.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBINO, V., BALICE, A. & DANGELICO, R. M. Environmental strategies and green product development: an overview on sustainability-driven companies. *Business Strategy and the Environment*, v. 18, p. 83-96, 2009.

ARENA, A. P. **Análisis del ciclo de vida y la sustentabilidad ambiental del sector edilicio en Argentina**. In: Caldeira-Pires, A.; Souza-Paula, M. C.; Villas Bôas, R. C. (org.). *A Avaliação do Ciclo de Vida. A ISO 14040 na América Latina*. Brasília: ABIPTI, 2005. pp 220 - 247. ISBN: 8589263045

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – requisitos e orientações**. 46 p. (Norma ABNT NBR ISO 14044). 2009.

CENTRO DE TECNOLOGIA DE EMBALAGEM: INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS – CETEA/ITAL. Coltro, L (org.). **Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão**. Campinas: CETEA/ITAL, 2007. 75 p. II. ISBN: 978-85-7029-083-0. Disponível em: <www.cetea.ital.org.br/.../ACV_como_Instrumento_de_Gestao-CETEA.pdf>. Último acesso: 03 de junho de 2011.

CHIODI FILHO, C. **Situação Atual e Perspectivas Brasileiras no Setor de Rochas Ornamentais**. São Paulo: ABIROCHAS, 2008. 38 pp. (Informe 02/2008).

CHIODI FILHO, C. **Balço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2008**. São Paulo: ABIROCHAS, 2009. 23p. (Informe n. 03/2009).

GONZÁLEZ MURIAS, Pilar.; RODRIGUEZ GONZÁLEZ, Xosé Antón. **La industria del granito em el siglo XXI: Realidad actual y estrategias económicas del futuro**. Vigo - ESP: Asociación Hispalink-Galicia – AHG, 2001, 186 pp.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA – IBICT. **Metodologia padrão para a elaboração de inventários de ciclo de vida da indústria brasileira. Documento consolidado.** Brasília: IBICT, 2009. 228 pp.

LIMA, Ângela Maria Ferreira. **Avaliação do Ciclo de Vida no Brasil: inserção e perspectivas.** 2007. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – UFBA, Escola Politécnica, 2007. Disponível em: <<http://www.teclim.ufba.br/>>. Acesso em: 19 maio 2011.

LÓPEZ JIMENO, Carlos et al. **Manual de Rocas Ornamentales.** 2. ed. Madrid - ESP:, 1996, 696 p.

NERY, M. A. C. & SILVA, E. A. **Balanço mineral de rochas ornamentais.** 1988-2000. [S.l.], 2001. Mimeografado.

TAXIARCHOU, M. & KOSTOPOLOU, I. **Life cycle analysis of dimension stones production.** *In:* 3rd International Conference on Sustainable Development Indicators in the Mineral Industry, 2007. Milos Island, p. 169-174. Grécia. 2007.

VIANA, Marcelo Mendes. **Inventário do Ciclo de Vida do Biodiesel Etílico do Óleo de Girassol.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – USP, Escola Politécnica, 2008. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-10112008-111505/publico/Versao_final_corrigida.pdf>. Acesso em: 19 maio.



**IX Simpósio de Rochas
Ornamentais do Nordeste**

10 a 13 de abril / 2016

João Pessoa - PB

TRABALHOS APRESENTADOS EM PÔSTER

ANÁLISE DE POSSÍVEIS DANOS A MONUMENTOS PÉTREOS CAUSADOS POR MÉTODOS DE LIMPEZA

Gabriela Fernandes Lacerda¹, Roberto Carlos Ribeiro²

¹ Bolsista de iniciação científica, CETEM.

² Engenheiro químico, CETEM.

glacerda@cetem.gov.br

rcarlos@cetem.gov.br

RESUMO

Os monumentos históricos pétreos são fontes importantes de resgate da memória da sociedade, no entanto, mesmo dada sua importância esses monumentos vem sofrendo diversos tipos de degradações, dentre elas, pichações e falta de conservação levando a formação de crostas negras, impregnação com fungos e amarelamento da superfície, tornando de fundamental importância a utilização de métodos de limpeza para a remoção dessas sujidades. Muitos métodos vêm sendo utilizados para a limpeza desses monumentos pétreos, entretanto muitos problemas vêm sendo observados pela utilização de métodos inadequados, levando a problemas ainda maiores como o manchamento, alteração de brilho e cor, perfuração da superfície dessas rochas, danos esses muitas vezes irreversíveis. Tornando imprescindível o estudo de métodos de limpeza adequados para cada tipo rocha, visando minimizar os danos para o monumento. Um método de limpeza muito utilizado atualmente é o método do emplastro, que consiste na utilização de produtos químicos aplicados na superfície da rocha para a remoção da sujeira, no entanto mesmo dada sua eficácia na remoção da sujidade é necessário saber se a utilização desses produtos causa algum dano à rocha. Baseado nisso, o objetivo do presente trabalho foi verificar o efeito de cada um dos constituintes do emplastro (bicarbonato de sódio, EDTA, bicarbonato de amônio), bem como o emplastro propriamente dito na superfície de rochas normalmente encontradas nos monumentos históricos. Utilizou-se 4 tipos de rochas ornamentais, normalmente encontradas nos patrimônios históricos: Granito conhecido comercialmente como Granito Juparaná Casablanca, Mármore branco, Pedra Portuguesa e um Calcário ornamental, comercialmente chamado Calcário Cariri. Preparou-

se um emplastro em cada uma das rochas, formado por bicarbonato de sódio, bicarbonato de amônio, EDTA e carboximetilcelulose, nas proporções 1:0,8:1:1, como geralmente ocorre em obras de restauração. Além disso, utilizou-se os seguintes compostos individualmente sobre cada rocha: bicarbonato de sódio, EDTA 10%, e bicarbonato de amônio. Todas as amostras de rochas, com 1 cm³, foram submetidas aos produtos durante 12h, sendo posteriormente lavadas com água destilada. Foram realizados índices físicos, para a obtenção da absorção de água e porosidade das amostras, medição colorimétrica e observação em lupa binocular nas amostras antes e após a realização da limpeza. Os resultados dos ensaios indicaram que o emplastro é capaz de alterar os valores de absorção de água e porosidade das amostras testadas, como por exemplo, a pedra portuguesa, que teve o valor de porosidade alterado de 0,58 para 3,20%. Ao se avaliar o efeito de cada componente separadamente chegou-se a conclusão que o bicarbonato de sódio e o EDTA são os possíveis causadores das alterações observadas no emplastro. O bicarbonato de sódio, provavelmente leva a formação de novos sais no processo de interação com a rocha, levando a degradação da mesma. Já o EDTA é um complexo polidentado com muitos sítios ativos, sendo portanto muito reativo, levando a retirada de cátions e ânions da rocha. Diferentemente desses dois compostos o bicarbonato de amônio não apresentou alterações significativas, concluindo-se que o mesmo não é o responsável pela degradação causada na rocha.

PALAVRAS-CHAVE: rochas, emplastro, produtos de limpeza.

ABSTRACT

The restoration process of stony monuments involves several steps, among them the cleaning system. Several problems are found in rocks that require cleaning with, for example, black crusting, graffiti, oxidations.... To remove some of these dirt is used a process called plaster, consisting in using together a number of chemicals on the dirt and rock is covered with paper and plastic film. However, even removing dirt, some restaurateurs do not care about the final conditions of rocks. Based on this, the objective of this study was to assess the effect of each compound (sodium bicarbonate, ammonium bicarbonate and EDTA), used in a plaster on the surface of granite and carbonate rocks. For this work, the rocks were evaluated before and after the attack of the mentioned products, by means of determining the porosity, water absorption, colorimetric aspects and microscopic observations. The results indicated that the patch is capable of altering the porosity

and absorption values of all rocks, such as Portuguese stone, had altered porosity value of 0.58 to 3.20%. When evaluating the effect of each component found that sodium bicarbonate and EDTA are mainly responsible for these changes, possibly by the formation of new salts containing elements from rocks, explaining that the mass loss and increased porosity and water absorption, characterizing the degradation

KEYWORDS: plaster, ornamental rocks and cleaning .

1.INTRODUÇÃO

A limpeza inadequada da superfície de rochas ornamentais pode causar danos irreversíveis como manchamentos, alterações cromáticas, perfurações nas superfícies, dentre outros tipos de degradações. Os danos causados pelos métodos de limpeza podem ser tanto de natureza química, que se processam na superfície das rochas podendo levar ao consumo de minerais que compõe a rocha e/ou a formação de outros compostos na superfície da mesma, bem como de natureza física ou biológica, causadas por atrito e crescimento de microorganismos (Frasca, 2015). Estudos realizados por Ribeiro et al (2007) para diagnosticar as causas de alteração de um limestone Mondoré aplicado no Shopping Novo Leblon - RJ, como mudanças drásticas na coloração, manchamento e liberação de um resíduo sólido em grande parte da superfície do chão do shopping; indicaram que a utilização de ácido muriático comercial utilizado na limpeza do Shopping foi responsável pela desestruturação da rocha. Esse tem sido um problema bem recorrente na atualidade e a escolha inapropriada do produto de limpeza gerou danos no chão do shopping causando grande prejuízo financeiro. No entanto, o problema se torna ainda mais sério, quando se tratam de rochas que compõem o patrimônio pétreo tombado pelo IPHAN, que devido a sua importância cultural e histórica não podem ser substituído, causando um prejuízo incalculável para a preservação da historia, tornando o estudo e diagnostico prévio de um método de limpeza e proteção adequados imprescindível para cada tipo de rocha, antes de se iniciar qualquer obra de intervenção nos bens tombados. Atualmente, muitos restauradores utilizam emplastos, ou seja, um conjunto de compostos químicos aplicados na superfície das rochas a serem limpas, que são cobertos com celulose e filme plástico durante cerca de 12h. No entanto, por mais que se observe eficiência na limpeza, deve ser verificar o efeito que esse emplastro pode causar na superfície das rochas.

2.OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é verificar o efeito de diferentes princípios ativos que compõem o processo de emplastro na superfície de rochas ornamentais silicáticas e carbonáticas.

3.METODOLOGIA

Foram utilizados 4 tipos de rochas ornamentais : um granito conhecido comercialmente como Granito Juparaná Casablanca, um mármore branco , uma pedra portuguesa e um calcário ornamental, comercialmente chamado Calcário Cariri. Preparou-se um emplastro em cada uma das rochas, formado por bicarbonato de sódio, bicarbonato de amônio, EDTA e carboximetilcelulose, nas proporções 1:0,8:1:1, como geralmente ocorre em obras de restauração. Além disso, utilizaram-se os seguintes compostos individualmente sobre cada rocha: bicarbonato de sódio, EDTA 10%, e bicarbonato de amônio, Todas as amostras de rochas, com 1 cm³ , foram submetidas aos produtos durante 12h, sendo posteriormente lavadas com água destilada e caracterizadas por meio dos índices físicos e análise colorimétrica.

Os índices físicos possibilitam a determinação da porosidade e absorção de água das rochas e foi realizado com base na norma ABNT- NBR 12766. O ensaio foi realizado com as amostras de rocha ao natural e após a utilização dos produtos e do emplastro.

Para a análise colorimétrica utilizou-se o aparelho spectro-guide 45/0 gloss, realizando-se medições de cor das amostras antes e após a aplicação dos produtos. O aparelho fornece os valores de L (claro-escuro); a (verde-vermelho) e b (azul-amarelo). A avaliação microscópica foi realizada em lupa binocular para a determinação de alterações nas superfícies das rochas, após a utilização dos produtos.

4.RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Índices físicos

As tabelas 1 e 2 apresentam os resultados de porosidade e absorção de água, respectivamente, das amostras submetidas ao emplastro e também a cada um dos compostos químicos individualmente. Pode-se verificar que todas as rochas que sofreram limpeza por meio do emplastro apresentaram variações significativas de porosidade, como por exemplo, o mármore que sofreu um aumento de porosidade de cerca de 0,2% para cerca de 1,4% e a pedra portuguesa que teve um aumento de porosidade de 0,6 para 3,2%. O mesmo comportamento é observado nos resultados de absorção de água onde os valores do mármore, por exemplo, saltam de 0,1 % para 0,6%. Tal fato indica que mesmo sendo responsável pela limpeza de bens pétreos, o emplastro causa destruição estrutural da rocha, refletindo nos seus resultados de porosidade e absorção de água. Observando-se os compostos individualmente, pode-se verificar que a ação individual do bicarbonato de amônio não afeta significativamente os resultados de porosidade e absorção de água das rochas. No entanto, observa-se que o EDTA e o bicarbonato de sódio são responsáveis em atacar a superfície das rochas, causando alterações nos resultados de porosidade e absorção de água. O granito, por exemplo, após ataque de bicarbonato de sódio, tem o valor de porosidade aumentado de 0,74% para 1,02% e a pedra portuguesa, por exemplo, de 0,66% para 1,20%. Já quando são atacadas com EDTA observa-se um aumento de 0,70% para 1,20% no granito e 0,60% para 1,30% para a pedra portuguesa. Aparentemente, o EDTA parece causar um efeito de degradação nas rochas maior que o bicarbonato de sódio.

Na figura 1 apresenta-se uma representação esquemática do processo de emplastro, onde bicarbonato de sódio, bicarbonato de amônio e EDTA reagem com a superfície a ser limpa das rochas, sendo o carboximetilcelulose (CMC) o meio para que a reação ocorra. As alterações observadas, causadas especificamente com bicarbonato de sódio e EDTA, podem estar relacionadas com a formação de um sal de sódio durante o processo de interação com a rocha, sendo o ânion oriundo da rocha, explicando-se a perda de massa e aumento de porosidade e absorção de água. No que se refere ao EDTA, observa-se um agente complexante polidentado, sendo capaz de não só limpar a superfície da rocha, mas também retirar cátions e/ou ânions de sua estrutura, explicando-se as variações de porosidade e absorção de água. Já o bicarbonato de amônio é um composto muito instável e seus elementos dissociados, possivelmente não conseguem realizar as interações como ocorre nos outros reagentes.

4.2 Aspectos colorimétricos

Na tabela 3 estão apresentados os resultados dos ensaios colorimétricos das rochas antes e após a limpeza com os produtos. No eixo L, que representa claro ($L > 50$) e escuro ($L < 50$), observam-se algumas alterações de valores após a ação de cada produto, porém todos os valores continuam acima de 50, indicando que a tendência clara foi preservada. No que se refere aos eixos a e b, onde +a refere-se ao vermelho, -b refere-se ao verde, +b refere-se ao amarelo e -b refere-se ao azul; verifica-se que as rochas não alteraram suas características colorimétricas.

5. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que o tipo de emplastro, formado por bicarbonato de sódio, EDTA e bicarbonato de amônio, comumente utilizado na limpeza de bens pétreos tombados, afeta diretamente a superfície das rochas com aumento considerável nos valores de porosidade e

FIGURAS

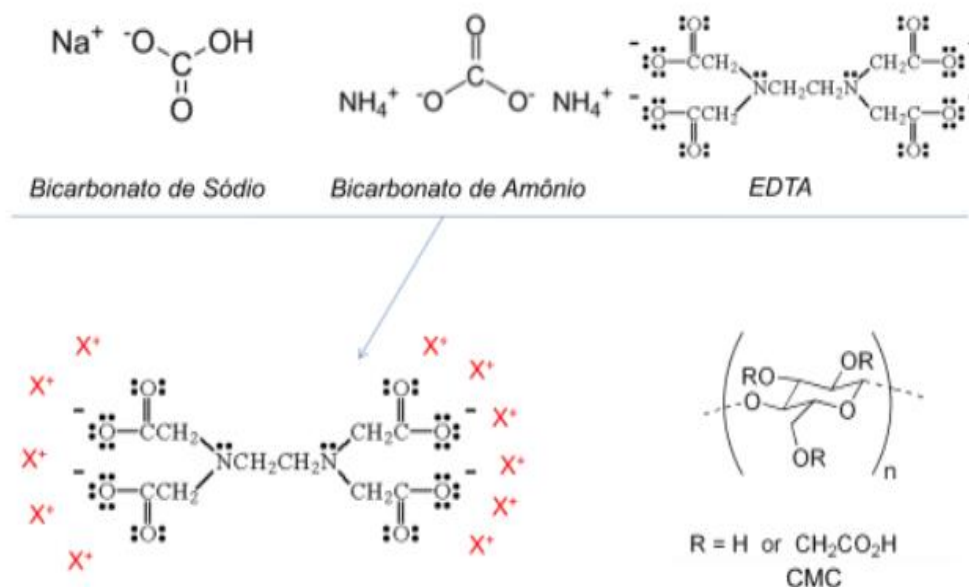


Figura 1 – Esquema hipotético de um emplastro

TABELAS

Tabela 1. Valores de porosidade (%) das rochas antes e após a utilização dos produtos químicos (CETEM 2015).

Produtos	Granito		Mármore		Pedra Portuguesa		Calcário Cariri	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
Bicarbonato de sódio	0,74	1,02	0,33	0,52	0,66	1,20	8,93	13,04
EDTA	0,70	1,20	0,32	0,40	0,60	1,30	9,01	13,00
Bicarbonato de amônio	0,72	0,78	0,28	0,30	0,65	0,65	9,33	9,45
Emplastro	0,62	1,05	0,21	1,38	0,58	3,20	9,23	13,00

Tabela 2. Valores de absorção de água (%) das rochas antes e após a utilização dos produtos químicos (CETEM 2015).

Produtos	Granito		Mármore		Pedra Portuguesa		Calcário Cariri	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
Bicarbonato de sódio	0,27	0,37	0,13	0,21	0,28	0,38	4,11	5,79
EDTA	0,26	0,60	0,10	0,10	0,20	0,50	5,00	6,00
Bicarbonato de amônio	0,28	0,25	0,23	0,23	0,23	0,20	5,13	5,40
Emplastro	0,25	0,40	0,09	0,56	0,21	1,18	5,30	6,60

Tabela 3. Tabela colorimétrica (CETEM,2015)

Produtos	Rochas	L	a	b
Bicarbonato de amônio	Granito antes	78	4,00	27,00
	Granito depois	77	4,20	25,00
	Mármore antes	63	-0,90	7,10
	Mármore depois	65	-2,00	5,00
	Pedra Portuguesa antes	66	-0,80	37,00
	Pedra Portuguesa depois	66	-0,80	35,00
	Calcário antes	75	4,00	15,00
	Granito antes	78	4,00	27,00

Tabela 3. Tabela colorimétrica (CETEM,2015)

Produtos	Rochas	L	a	b
Bicarbonato de sódio	Calcário depois	74	4,10	16,00
	Granito antes	64	4,90	11,60
	Granito depois	79	4,30	12,90
	Mármore antes	89	-0,90	2,77
	Mármore depois	88	-1,00	2,80
	Pedra Portuguesa antes	83	-0,36	4,36
	Pedra Portuguesa depois	80	-0,10	5,35
	Calcário antes	77	4,60	14
	Calcário depois	70	5,00	14
	EDTA	Granito antes	69	4,16
Granito depois		69	6,00	15
Mármore antes		90	-0,90	2,3
Mármore depois		91	-3,00	5,8
Pedra Portuguesa antes		79	-1,00	2,6
Pedra Portuguesa depois		78	-1,00	3,90
Calcário antes		76	5,20	14,00
Calcário depois		79	3,14	16,00
Granito antes		57	3,44	7,23
Granito depois		70	4,58	11,00
Emplastro	Mármore antes	90	-0,89	2,26
	Mármore depois	90	-0,80	1,88
	Pedra Portuguesa antes	82	-1	3,23
	Pedra Portuguesa depois	76	-1	6,71

Calcário antes	76	4,80	17
Calcário depois	76	4,90	17

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Frasca, M.H.B.O., Rochas Ornamentais – Tecnologia e Patologias, curso de rochas ornamentais, disponível em Sindirochas, 2015.

Ribeiro, R.C.C., Correira, J. C. G, Caranassius, A., Queiroz, J. P. C; Estudo de alterabilidade de um limestone de nome comercial Mondorè, Relatório Técnico 2007/050, CETEM, Rio de Janeiro, RJ, 2007.

AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DEVIDO À POSSÍVEL AÇÃO MICROBIANA

*Marcelo De Luccas Dourado*¹, *Andréa Camardella de Lima Rizzo*², *Roberto Carlos da Conceição Ribeiro*³

¹ Graduando em Engenharia Química (UFF), Bolsista de Iniciação Científica CETEM/MCTI

² Engenheira Química D.Sc., Tecnologista Sênior CETEM/MCTI

³ Engenheiro Químico D.Sc., Pesquisador CETEM/MCTI

marcelodourado@id.uff.br

RESUMO

As rochas ornamentais podem ser expostas a diferentes mecanismos de intemperismo, sejam eles químicos, físicos ou biológicos. Este último pode ganhar significativa importância no processo de degradação natural das rochas, dado que os ambientes rochosos propiciam substratos para os mais variados tipos de microrganismos, entre eles bactérias, fungos e actinomicetos, que podem excretar substâncias potencialmente danosas às rochas ornamentais (EHRlich, 2009). O objetivo deste trabalho foi realizar coleta, isolamento e identificação preliminar dos microrganismos presentes nas rochas gnaisse das fachadas do complexo arquitetônico do Mosteiro de São Bento, Rio de Janeiro. A coleta e o isolamento resultaram na seleção prévia de 70 microrganismos, sendo 29 fungos filamentosos, 30 bactérias, 7 actinomicetos e 4 leveduras. Embora esta seleção possa esclarecer algum possível mecanismo de ataque do monumento, ainda se faz necessária a identificação por espécies desses microrganismos para saber quais metabólitos estão atuando de forma a aumentar a biodeterioração do local. Posteriormente, pretende-se avaliar os efeitos da propagação microbiológica e da sua consequente influência no processo de alterabilidade de rochas ornamentais, bem como propor um mecanismo de proteção contra o crescimento e desenvolvimento de colônias microbiológicas neste monumento.

PALAVRAS-CHAVE: biodeterioração, rochas ornamentais, patrimônio histórico.

ABSTRACT

Weathering in stone-based monuments can be by physical, chemical or biological factors. The last one can earn significant importance in degradation of rocks, because these stone-based environments provide substrates to many phyla of microorganisms, such as bacteria, filamentous fungi, actinomycetes and yeasts in which some of these are able to produce some harmful substances that may attack the surface of the stone (EHRlich, 2009). The aim of this work was collect, isolate and do a preliminary identification of the microbiological community that dwell in the stone surface of the Mosteiro de São Bento, Rio de Janeiro. The isolation and identification results were about 70 microorganisms, which are fungi, bacteria, yeast and filamentous bacteria. Although this selection may clarify any potential biodeterioration on the Mosteiro's rock surface, it is still necessary to identify the species in order to know what metabolites contributes to the local biodeterioration. In a second time, we intend to study the interaction between the microorganism and the rock and to propose a protection that will stop the microbiological growth in this stone-based monument.

KEYWORDS: biodeterioration, ornamental rock, cultural heritage.

1. INTRODUÇÃO

O Complexo Arquitetônico do Mosteiro de São Bento, fundado em 1590 por monges vindos da Bahia, é um bem pétreo tombado pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN). Nele, estão localizados o Colégio e a Faculdade São Bento, bem como o claustro dos monges beneditinos e a Igreja Nossa Senhora de Montserrat, reconhecida por ser um dos poucos locais que ainda perpetuam tradições da Igreja Medieval, como o canto gregoriano e missas rezadas em latim.

Localizado próximo à Praça Mauá, no Centro da Cidade do Rio de Janeiro, a fachada da Igreja é composta por gnaiss, uma rocha metamórfica composta por três minerais: feldspato, mica e quartzo. O primeiro caracteriza um grupo mineral constituído de alumínio silicatos de potássio, sódio e cálcio. Já o segundo se refere a um grupo de minerais constituídos por silicatos hidratados de diversos metais, cristalizado no sistema monoclinico, com diferentes composições e propriedades físicas. Por fim, o terceiro se refere à fase estável da sílica a temperatura ambiente (EHRlich, 2009; UFJF, 2009). É importante ressaltar que este bem pétreo foi construído numa região próxima ao mar, com intenso tráfego de veículos automotivos e ação constante de ventos e chuvas. Nesse

sentido, as fachadas do monumento encontram-se bastante deterioradas em função do intemperismo físico e químico que atuam no local.

Além destes dois mecanismos, pode-se citar, também, o intemperismo biológico, que é considerado um mecanismo secundário de degradação das superfícies rochosas (BECKER, 1994). Geralmente a biodeterioração ocorre porque os outros ataques de agentes erosivos permitiram que naquele ambiente houvesse a deposição e acumulação de matéria inorgânica e/ou orgânica como nutrientes básicos para o complexo crescimento microbiano.

Dentre os principais agentes biológicos que podem atuar no processo de biodeterioração das rochas, destacam-se bactérias, fungos filamentosos, alguns tipos de leveduras, actinomicetos, algas, além dos líquens, que são associações simbióticas entre as algas e fungos. Todos estes grupos são capazes de utilizar, como substrato, a matéria orgânica depositada e acumulada na superfície rochosa, bem como os compostos inorgânicos do corpo rochoso e do ambiente a fim de obter energia para desempenho de suas atividades vitais (MADIGAN, 2004). Como resultado, é possível que ocorra a geração de metabólitos capazes de aumentar a biodeterioração das rochas ornamentais do complexo.

Como exemplo de metabólitos envolvidos no processo de biodeterioração, podemos citar a ação de ácidos orgânicos sobre rochas de carbonato, como o ácido oxálico. Sabe-se que os carbonatos são instáveis em meio ácido e se decompõe segundo a seguinte reação química:



A equação (1) tem constante igual a $K_{ps}=3,36 \times 10^{-9}$ (LIDE, 2009). Como a solubilidade do $Ca(HCO_3)_2$ é muito maior do que a solubilidade do $CaCO_3$, a dissolução da rocha tem início em soluções levemente ácidas. Em soluções fortemente ácidas, o intemperismo se intensifica ainda mais devido a perda de gás. Sendo assim, do ponto de vista bioquímico, qualquer microrganismo produtor de ácido, seja orgânico ou inorgânico, é capaz de dissolver rochas carbonáticas (EHRlich, 2009).

Pode-se citar, também, a biodeterioração de rochas silicáticas catalisada por metabólitos oriundos de microrganismos. De acordo com Erlich (2009), são reportados quatro diferentes mecanismos: a complexação de cátions metálicos da estrutura cristalina em pH próximo a neutralidade, a solubilização por ácidos orgânicos, a solubilização por hidrólise de compostos nitrogenados e a solubilização por polissacarídeos extracelulares (EPS) em ambientes ácidos. O resultado é a desagregação e a possibilidade de formação de novos minerais a partir da reprecipitação e cristalização dos constituintes mobilizados pelos microrganismos.

Além da biocorrosão dos monumentos, as modificações causadas por microrganismos também incluem a alteração do diâmetro do poro das rochas bem como a possibilidade do aumento e propagação das trincas já existentes no material, além das alterações estéticas das fachadas (BECKER, 1994). Deste modo, é necessário buscar algum mecanismo que seja capaz de diminuir significativamente a deterioração deste bem pétreo. Atualmente, já existem tecnologias no mercado capazes de diminuir em alto grau a biodeterioração das rochas ornamentais.

2. OBJETIVO

Coletar, isolar e realizar identificação preliminar das populações microbianas presentes nas rochas ornamentais da Igreja Nossa Senhora de Montserrat, que pertence ao complexo arquitetônico do Mosteiro de São Bento.

3. METODOLOGIA

3.1 Pontos de coleta

Na figura 1, reproduz-se a planta do Mosteiro de São Bento, localizado no Centro da Cidade do Rio de Janeiro. Os locais da coleta microbiológica foram identificados por números nas plantas, reproduzidas abaixo.

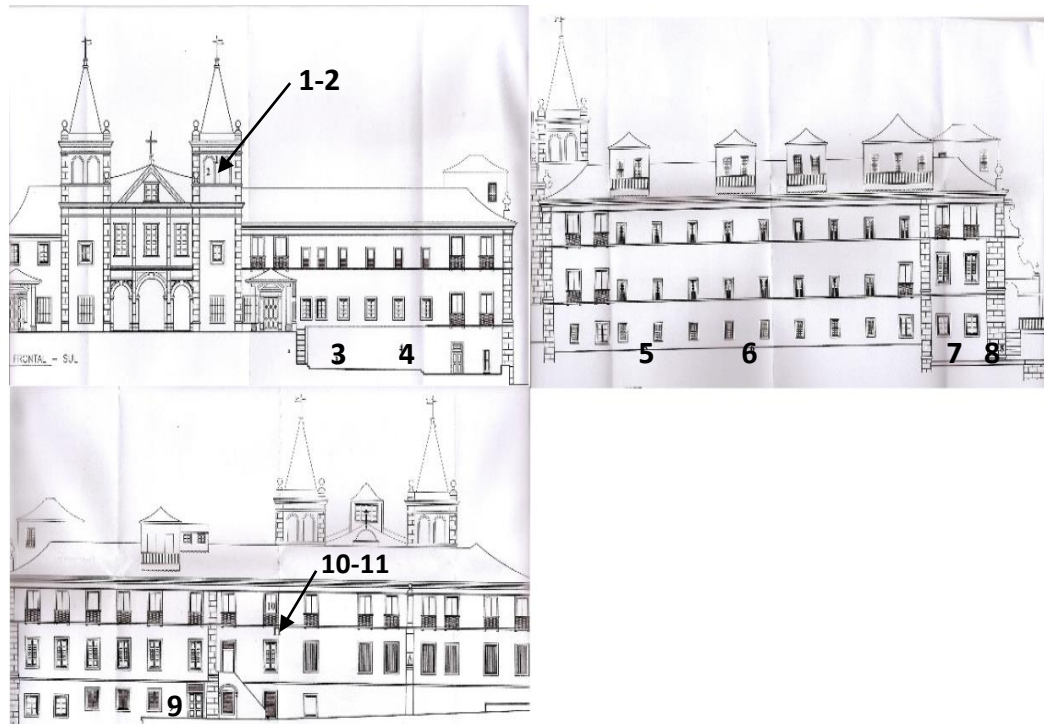


Figura 1. Planta do Mosteiro. Da esquerda para direita e da linha superior para inferior: Fachada Frontal, Fachada Lateral Direita, Fachada Posterior.

Os pontos de coleta foram determinados por observação visual das fachadas, dado o avançado grau de deterioração das mesmas. Coletou-se material nos seguintes pontos: Imagem do Cristo no jardim interno, Fachada Posterior, em dois pontos distintos; Fachada Lateral Direita, em três pontos diferentes; Fachada Frontal; Fachadas Frontal e Lateral Direita da Torre do Campanário; Sinos; Balcão 8 da Fachada Posterior em três pontos distintos, bem como o ornamento localizado imediatamente abaixo dele.



Figura 2. Imagem do busto de Cristo no jardim interno.

3.2 Amostragem

Com o auxílio do swab estéril (um chumaço de algodão preso a uma haste plástica), coletou-se o material biológico dos pontos acima identificados. Em seguida, espalhou-se o material sobre os meios de cultura solidificados previamente distribuídos em placas de Petri. Para cada ponto coletado, o material foi inoculado, em duplicatas, em placa contendo meio TSA (Caldo de Triptona de Soja) e outra com meio BDA (Batata Dextrose Agar). O meio TSA é normalmente utilizado para crescimento de microrganismos heterotróficos. Já o meio BDA (BISWAS, 2013) é o meio comumente empregado para a cultura de fungos.

3.3 Isolamento

Em laboratório, as placas de Petri foram mantidas em estufa a 30°C, por cerca de quatro dias. Ao final desse tempo, foi possível observar o crescimento de diversas colônias de microrganismos. A avaliação do crescimento microbiano foi visual, sendo selecionados os morfotipos diferentes presentes nas placas. Após a seleção das colônias, procedeu-se ao esgotamento por estrias no meio sólido correspondente (TSA ou BDA).

3.4 Identificação preliminar

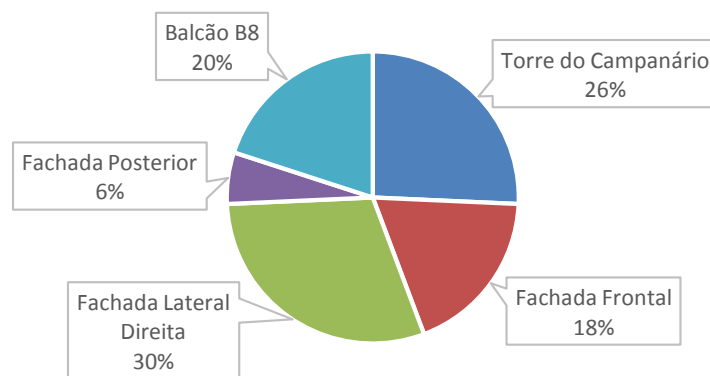
Após o período de crescimento dos isolados, realizou-se o registro fotográfico das principais placas. As mesmas foram identificadas por microscopia óptica com o auxílio da equipe do Laboratório de Microbiologia Industrial da Escola de Química da UFRJ.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente estudo, foram identificados 70 microrganismos, dos quais 29 são possíveis fungos filamentosos, 30 são possíveis bactérias, 4 são possíveis leveduras e 7 são possíveis actinomicetos. A distribuição dos filos microbianos coletados pode ser sumarizada na Tabela 1. A partir dela foi possível gerar um gráfico de setores circulares, indicando quais locais encontram-se com maior proliferação microbiológica e, portanto, com maior potencial de biodeterioração.

Tabela 1. Distribuição dos Filos Microbianos

Local de Coleta	Fungos	Bactérias	Leveduras	Actinomicetos	Total	Porcentagem
Torre do Campanário	6	1	-	1	18	26
	4	2	-	-		
	2	2	-	-		
Fachada Frontal	-	2	-	-	13	18
	5	3	1	2		
Fachada Lateral Direita	1	2	-	1	21	30
	-	2	-	-		
	4	1	-	-		
	5	3	1	1		
Fachada Posterior	1	3	-	-	4	6
Balcão B8	-	3	-	-	14	20
	-	3	1	-		
	-	3	-	-		
	1	-	1	2		
Total	29	30	4	7	70	100

**Figura 3.** Quantidades Relativas de Microrganismos em cada Local de Coleta.

De acordo com a Figura 2, podemos perceber que os locais com maior proliferação microbiológica foram na fachada lateral direita, na torre do campanário e na fachada frontal, confirmando, portanto, a observação feita a priori dos locais “críticos”.

Os possíveis filotaxões microbianos encontrados são explicados pela flexibilidade da exigência nutricional, somado a capacidade de lidar com flutuações na temperatura, umidade e pressão

osmótica bem como períodos de escassez nutricional, uma vez que as condições locais não são homogêneas durante o ano (BECKER, 1994).

Como mencionado anteriormente, o meio TSA é altamente nutritivo e versátil, normalmente utilizado para crescimento de microrganismos heterotróficos. Já o meio BDA (BISWAS, 2013) é o meio comumente empregado para a cultura de fungos. Como ainda não foi realizada a identificação por espécies dos microrganismos, sabe-se apenas que eles podem ser classificados em organotróficos, uma vez que todos os microrganismos isolados apresentaram crescimento num meio próprio para cultivo de heterotróficos totais e/ou fungos, cuja principal fonte de carbono em ambos é um composto orgânico (MADIGAN et al., 2010). No entanto, não se deve descartar a presença de microrganismos autotróficos, necessitando de uma avaliação complementar sobre o metabolismo de cada microrganismo isolado.

Além disso, é possível que alguns dos microrganismos isolados sejam produtores de ácidos orgânicos, uma vez que, na literatura, encontram-se registros destes tipos de microrganismos colonizando rochas nos climas subtropicais (BECKER, 1994). Ao excretar os ácidos orgânicos, o gnaiss se dissocia, gerando, assim, íons cálcio livres. Devido à grande quantidade de compostos derivados de enxofre presente no local, o cálcio livre reage com os compostos de enxofre e, assim, há a formação de um novo mineral, a gipsita (CaSO_4) (Ehrlich, 2009). Neste momento, duas hipóteses podem ser formuladas para futura investigação: os microrganismos são agentes de transformação do gnaiss em gipsita ou houve a formação da gipsita e, em seguida, os microrganismos colonizaram o novo mineral.

Embora o mecanismo de transformação não esteja completamente elucidado, os dois minerais citados apresentam propriedades físicas distintas, o que pode contribuir para uma fragilização das fachadas externas do monumento.

5. CONCLUSÃO

Embora esta seleção possa indicar alguma possível ação do intemperismo biológico no monumento, ainda se faz necessária a identificação por espécies dos microrganismos. A partir dessa informação poderemos identificar qual o mecanismo de biodeterioração está contribuindo para a degradação das rochas ornamentais deste monumento. Em uma futura etapa, pretende-se estudar os efeitos da propagação microbiológica e da sua consequente influência no processo de alterabilidade das rochas ornamentais presentes neste bem tombado pelo IPHAN, bem como buscar

alternativas tecnológicas visando a proteção do monumento contra a ação biodeteriorativa dos microrganismos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BECKER, T.W.; KRUMBEIN, W.E.; WARSCHEID, Th.; RESENDE, M.A. Investigations into Microbiology. **Project IDEAS: Investigation into Devices against Environmental Attack on Stones – A German-Brazilian Project.** p.147-186, 1994.

BISWAS, J.; SHARMA, K.; HARRIS, K.K.; RAJPUT, Y. Biodeterioration agents: Bacterial and fungal diversity dwelling in or on the pre-historic rock-paints of Kabra-pahad, India. **Iranian Journal of Microbiology.** 2013. Vol 5. p. 309-314

ERLICH, H. L.; NEWMAN, D.K. Geomicrobiology. Boca Raton: CRC Press, 2009. 606p.

LIDE, D.R. Handbook of Chemistry and Physics. 89ed. CRC Press, 2009.

MADIGAN, M.T.; MARTINKO, J.M.; PARKER, J. Microbiologia de Brock. 10 ed. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA. **Geologia.** Disponível em: <<http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/Geologia-Cap6.pdf>>. Acesso em 26/02/2016 às 14:22.

VERMELHO, A. B.; PEREIRA, A. F.; COELHO, R.R.R.; SOUTO-PADRÓN, T. Práticas de Microbiologia. Guanabara Koogan, 2006.

ZAJIC, J.E. Microbial Biogeochemistry. Academic Press, 1969. p.218-224.

TECNOLOGIAS DE CORTE UTILIZADAS NO DESMONTE DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Erbertt Barros Bezerra¹, Alexandre José Buril de Macêdo², Elieber Barros Bezerra³

¹ Graduando em Engenharia de Minas, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, UAMG

² Professor da UAMG, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, UAMG

³ Doutorando em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, UAEMA

erberttbarros@gmail.com;

RESUMO

As rochas são sólidos naturais, de origem inorgânica, constituídos por um ou agregado de minerais, e/ou mineralóides, que ocorrem comumente na natureza. Dentre os diversos tipos de rochas e suas finalidades, destacam-se as rochas ornamentais, que podem ser definidas como material natural submetido a variados tipos ou graus de acabamento, utilizado para exercer função estética. A seleção das técnicas de corte influencia no aproveitamento do corpo e impactos ambientais, assim, tendo em vista estes vetores, o presente artigo reúne as tecnologias de corte existentes na produção de rochas ornamentais. Na escolha das técnicas para extração são analisadas sua operacionalidade e a relação custo - benefício. Com o intuito de alcançar os objetivos do estudo, foram realizados levantamentos bibliográficos a respeito da temática, buscando-se informações acerca de cada técnica de corte, como também suas vantagens e desvantagens. Estas tecnologias se apresentam em dois grupos: Cíclicas ou Corte Contínuo. Na Cíclica se executam furos espaçados convenientemente para cortar a rocha (Cunha, Perfuração e Agentes de Corte). No Corte Contínuo aplicam-se agentes de desmonte (Fio Helicoidal e Diamantado; Chama Térmica e Cortador a Corrente). A escolha da tecnologia de corte mais adequada para extração da rocha depende das características morfológicas, litológicas, estruturais e geográficas da jazida e esta escolha tem suma importância para um melhor aproveitamento da rocha ornamental, evitando a demasiada perda de material, deve-se também considerar às restrições geométricas e operacionais da área de produção.

PALAVRAS-CHAVE: Rochas ornamentais, Tecnologia de corte, Extração.

ABSTRACT

Rocks are natural solids, with an inorganic origin, consisting of one or more minerals and/or mineraloids, which commonly occur in nature. Among the different types of rocks and their purposes, it highlights the ornamental rocks, which can be defined as natural material subject to various types or degrees of finish, used to perform aesthetic function. The selection of cutting techniques influence the use of body and environmental impacts, as well, in view of these vectors, this article brings together the existing cutting technologies in the production of natural stones. During the selection of extraction methods are analyzed its operability and the relation cost-benefit. In order to achieve the objectives of the study, literature surveys on the theme were performed, searching for information about each cutting technique, as well as its advantages and disadvantages. These technologies are classified in two groups: Cyclical or Continuous Cutting. In Cyclic they are executed properly spaced holes to cut the natural stone (Wedge, Drilling and Cutting Agents). In the Court Continuous apply blasting agents (Helical Wire and Diamond; Flame Thermal and Current Cutter). The choice of the most appropriate cutting technology to the rock extraction depends on the morphological, lithological, structural and geographical characteristics of the deposit and this choice is very important for a better use of the natural stone, avoiding exceeding material loss, also should be considered the geometric and operational constraints of the production area.

KEYWORDS: Natural Stones, Cutting Technology, Extraction.

1. INTRODUÇÃO

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT em sua norma NBR 15012/2003 caracteriza rochas ornamentais como um material rochoso, submetido a diferentes graus e/ou tipos de beneficiamento, que são utilizados com uma função estética qualquer.

A utilização das rochas com caráter ornamental remonta o período paleolítico (500.000 AC), podendo ser observada também em obras egípcias, palácios, e diversos monumentos que servem de testemunho. Atualmente ela é utilizada na área de construção civil e em obras funerárias (SILVA, 2014).

As rochas ornamentais, como os mármore, granito, gnaiss, ardósias, e outras de natureza análoga, vêm sendo exploradas em larga escala nesses últimos anos, originando riqueza e empregos (MANHÕES & HOLANDO, 2008). Isso porque os métodos, e as técnicas de extração e beneficiamento das rochas ornamentais estão em constante aperfeiçoamento, apresentando resultados satisfatórios na relação custo - benefício, resultando assim na extração e utilização de rochas que até então se apresentavam inutilizáveis (REIS & SOUSA, 2003). Neto e Silvestre (2013) afirmam que os maiores problemas enfrentados no passado pelo setor de rochas ornamentais eram a ausência de tecnologias para extração e beneficiamento das rochas.

A seleção da técnica de corte para o desmonte de rochas ornamentais está diretamente relacionada às características morfológicas, litológicas, estruturais e geográficas da jazida. Também são levados em consideração os parâmetros econômicos inerentes ao tipo e valor comercial do material, escala de produção e dimensão dos blocos (SOSSAI, 2006).

Buscando alcançar os objetivos dessa pesquisa, foram realizados levantamentos bibliográficos a respeito da temática, levantando informações acerca da realização de cada técnica de corte, como também suas vantagens e desvantagens.

1. LAVRA

Segundo Russo (2011) a divisão principal entre os diferentes tipos de lavra de rochas ornamentais ocorre segundo a natureza da frente, através da extração de matacões isolados ou diretamente do maciço rochoso, na forma de bancos regulares. Assim, na **Lavra por Matacões** cada indivíduo compõe uma frente individual, de dimensões compatíveis com seu porte natural, e aproveitamento concordante com a profundidade das alterações em suas faces e que se

procederam através das lineações presentes. Já a **Lavra por Maciço** permite o desenvolvimento de bancos ou bancadas individuais de onde se extraem blocos, utilizando-se de técnicas de corte ou de perfuração contínua.

2. TÉCNICA DE CORTE

A escolha do método de lavra compreende processo multivariável, apreciando fatores naturais (tipo de rocha, parâmetros estéticos e dimensões do corpo), e econômico-financeiros, que precisam ser combinados com a tecnologia que se apresenta mais apropriada, ou seja, que permita obter a maior relação benefício/custo possível, e tendo como consequência natural uma maior harmonia da atividade com o ambiente local, em termos de alteração paisagística, geração de resíduos e emissão de poluentes. Para tanto, existem dois tipos de tecnologias, em função de sua periodicidade de corte: cíclicas (em costura) ou contínuas (MATTA, 2003; REIS & SOUSA, 2003; CABELLO et al, 2012).

2.1 CÍCLICAS (CORTE EM COSTURA)

As tecnologias de corte em costura baseiam-se no uso de furos para permitir o desprendimento de blocos de rocha, através da ação de agentes expansores. Os furos são coplanares, regularmente espaçados, normalmente realizados por martelos rotopercussivos (MATTA, 2003; RUSSO, 2011, CABELLO et al.,2012).

Realizados os furos, no plano da superfície que se pretende formar, acondicionam-se agentes expansores que promovam o início e a propagação da trinca bem como sejam capazes de efetuar o afastamento das paredes da referida trinca. Tais agentes de expansão são físicos (cunhas manuais ou mecanizadas) ou químicos (argamassa expansiva ou explosivo controlada).

2.1.1 DIVISÃO POR CUNHAS

Nesta técnica realiza-se uma sequência de furos, posicionando-os de acordo com a disposição dos minerais da rocha. Tais furos são espaçados entre 10 e 15 cm, com profundidade igual à altura da face de corte, preferencialmente igual ou múltiplo de uma das dimensões dos blocos que serão formados. Após a furação, cunhas metálicas são introduzidas (Figura 1) e

golpeadas manualmente com uso de marretas, até se obter tensão suficiente para iniciar e propagar uma fissura que comunica todos os furos (MENEZES, 2005). Este procedimento gera problema de incerteza da capacidade de produção, já que a partição da rocha pode durar desde minutos até horas. Tipo da rocha, direção de ruptura, altura do corte e espaçamento entre furos serão as variáveis controladoras do tempo (MATTA, 2003).



Figura 1 - Furos com cunhas metálicas. Fonte: Almeida, 2006.

Uma variante desta técnica é aplicar-se cunhas mecânicas de acionamento hidráulico, ou pneumático, que permitem melhor previsão e eficiência.

2.1.2 USO DE AGENTES EXPANSIVOS

O uso de agente expansivo para iniciação e propagação de trincas tem o mesmo princípio de corte àquele utilizado com auxílio de cunhas manuais ou mecanizadas. Diferencia-se pela substituição do agente expensor, que aqui se trata de uma massa expansiva que preenche os furos que precisam estar limpos e isentos de água.

Esta metodologia de corte (Figura 2) reduz a perda de produção, pois gera menos rejeitos, o que pode representar vantagens econômico-ambientais relevantes (MENEZES, 2005).



Figura 2 - Corte em matacão efetuado com argamassa expansiva - Piranhas/GO. Fonte: Matta, 2003.

2.1.3 PERFURAÇÃO CONTÍNUA

Trata-se da realização de furos contíguos, próximos ou adjacentes, utilizando-se de equipamento denominado talha-blocos (*slot drill*). Técnica que permite menor perda de material, porém tem elevado custo em ferramentas de corte (MATTA, 2003).

Menezes (2005) sustenta que a grande vantagem da perfuração contínua é sua eficiência operacional, com bom acabamento de faces e preservação das características da rocha, Figura 3.

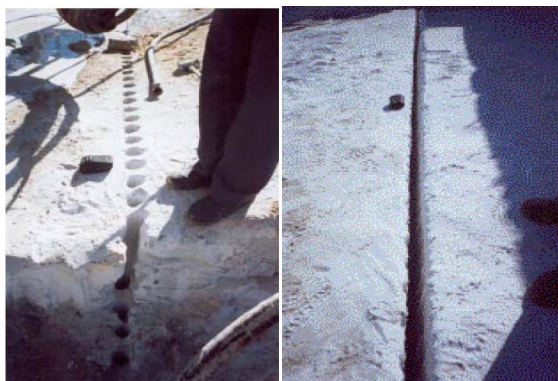


Figura 3 - Estágios de corte no plano horizontal e acabamento efetuado pela perfuração contínua. Fonte: Pinheiro, 2003.

2.1.4 PERFURAÇÃO E EXPLOSIVOS

Técnica semelhante as já citadas, que se utiliza de perfuratriz pneumática para furação em planos horizontais e verticais. No interior dos furos (Figura 4), são posicionados agentes de desmonte com baixa velocidade de detonação (pólvora negra, nitrato de amônio, outros) e acessórios (cordel detonante e iniciadores).

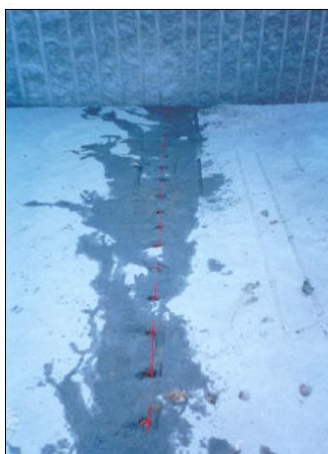


Figura 4 - Furos coplanares paralelos espaçados com uso de explosivos. Fonte: Chiodi Filho, 1995.

Graças à sua versatilidade, manejo operacional e custo de perfuração, esta técnica é mais utilizada em desmonte de volumes primários e secundários de rochas silicáticas (MENEZES, 2005).

2.2 CORTE CONTÍNUO

Metodologia sem uso predominante de perfuração, como também de explosivos em sua execução.

2.2.1 FIO HELICOIDAL E DIAMANTADO

O Fio Helicoidal é utilizado para rochas carbonatadas (calcários, travertinos e mármore). O corte é efetuado pelo atrito de uma polpa com a rocha, tendo o fio a função de elemento transportador (ALENCAR et al. 1996). Já o Fio Diamantado (Figura 5) é aplicado em cortes verticais e horizontais, aplicados em rochas pobres em quartzo.



Figura 5 - Fio diamantado em uso. Fonte: Lima, 2010.

A análise de desempenho do fio diamantado tem evidenciado vantagens em sua aplicação devido à boa qualidade nas superfícies de corte; maior velocidade de corte (aumento em produtividade); relação custo/benefício adequada; versatilidade operacional e tecnologia limpa, com baixo nível de ruídos, vibrações e poeira.

2.2.2 CHAMA TÉRMICA (FLAME JET)

Tecnologia aplicada em corte primário de rochas silicáticas, a partir de determinada concentração de quartzo. Nestas rochas o calor gera dilatações diferenciais, surgindo zonas de

tensões térmicas. O processo de abertura da fenda (Figura 6) se dá por desagregação e pulverização em função de seus diferentes coeficientes de dilatação térmica dos minerais.

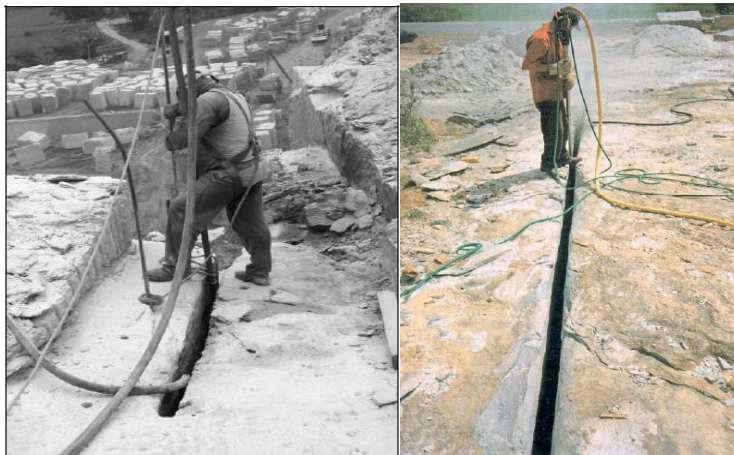


Figura 6 - Corte de bloco com uso do Chama Térmica (Flame Jet). Fonte: Alencar et al. (1996).

As principais características apresentadas nessa técnica: boa velocidade de corte, baixo custo, ruídos em níveis elevados, calor excessivo e perda elevada (ALENCAR et al. 1996).

2.2.3 CORTADOR A CORRENTE

Em geral aplicada para mármore, porém o maquinário utilizado para essa técnica pode ser utilizado em rochas macias (carbonatadas) até duras (silicatadas). De acordo com a aplicação as correntes da máquina podem conter metal duro (rochas brandas) ou diamantes industriais para rochas mais rígidas (MATTA, 2003).



Figura 7- Cortador a corrente. Fonte: Lima, 2010.

O desenvolvimento do cortador a corrente depende da rocha, e seu avanço varia de 5 m²/h (rochas dura), até 30 m²/h, quando aplicada em materiais brandos. É considerada uma técnica limpa e produtiva (MATTA, 2003).

3. CONCLUSÃO

Evidencia-se a necessidade de aplicação de técnicas de pesquisa e caracterização adequadas para que o conhecimento dos locais de extração e das propriedades físico-química, petrográfica e estruturais das rochas, utilizadas como materiais para fins ornamentais indiquem, mesmo preliminarmente, as tecnologias de cortes mais apropriadas aos cenários que se levantam.

O planejamento pré-operacional permite avaliar as diversas possibilidades de produtos, mercados e questões relativas à evolução da lavra e das condições de estabilidade de fatores ambientais que seriam alterados pela adoção de técnicas de corte e produção alternativas, resultando em análises técnico-econômicas de fluxos-de-caixas previstos para cada modelo, e consequente da relação benefício-custo.

As características morfológicas, litológicas, estruturais e geográficas são os pressupostos na escolha do método de extração, devendo-se considerar também as restrições geométricas e operacionais da área de produção.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15012 – Rochas para revestimentos de edificações - Terminologia**. Rio de Janeiro, 2003.

ALMEIDA, S. 2006. **Lavra, artesanato e mercado do estético de Santa Rita de Ouro Preto, Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral). Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 121p.

ALENCAR, C.R.A.; CARANASSIOS, A.; CARVALHO, D. (1996). Tecnologias de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais. **Série estudos econômicos sobre rochas ornamentais**, v. 3. 225 p. Instituto Euvaldo Lodi-FIEC/CIEL, Fortaleza.

CABELLO, M. L. R.; PERES, A. E. C.; MARTINS, A. H.; SILVA, R. G. O.; PEREIRA, C. A. Métodos de Lavra Aplicados á Extração de Rochas Ornamentais. **Holos**, Ouro Preto, v. 5, n. 28, p. 167-173, 2012.

CHIODI FILHO, C. (1995). **Aspectos Técnicos e Econômicos do Setor de Rochas Ornamentais.** (série estudos e documentos – 28) CNPq/CETEM – Rio de Janeiro.

LIMA, W. B. C. **Exploração das Rochas para Fins Ornamentais Tecnologias de Corte.** Campina Grande, 2010, p. 11. Apostila do Curso Técnico em Mineração - IFPB- CG.

MANHÕES, J. P. V. T.; HOLANDO, J. N. F, 2008. Caracterização e Classificação de Resíduo Sólido “Pó De Rocha Granítica” gerado na Indústria de Rochas Ornamentais. **Química. Nova**, Vol. 31, No. 6, p. 1301-1304, 2008.

MATTA, P. M. **Indústria de Rochas Ornamentais: Rejeito x Produção Limpa.** Salvador: Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM/BA, p. 45, 2003.

MENEZES, R. G.; LARIZZATTI, J. H. **Rochas Ornamentais e de Revestimento: Conceitos, Tipos e Caracterização Tecnológica.** Rio de Janeiro, 2005, p. 14. Apostila do Curso de Especialização em Mármore e Granitos.

NETO, R. S.; SILVESTRE, B.S. Inovação tecnológica como agente de redução de impactos ambientais da indústria de rochas ornamentais no estado do Rio de Janeiro. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 3, p. 235-252, jul./set. 2013.

REIS, R. C.; SOUSA, W. T. Métodos de lavra de rochas ornamentais. **Revista. Escola de Minas**, Ouro Preto, 56(3): 207-209, jul. set. 2003.

RUSSO, M. L. C. **Reciclagem de Resíduo Gerado na Extração de Quartzito.** 2011. 174p. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2011.

SILVA. C. C, 2014. **Rochas na Construção Civil: Tipos, Aplicações e Critérios de Seleção.** Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da UFMG. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 90p.

SOSSAI, F. J.M. **Caracterização Tecnológicas de Rocha Ornamentais.** 2006, 87f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa , Viçosa, 2006.

MEDIÇÃO DA PERDA DE BRILHO DE LADRILHOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS BRASILEIRAS SUBMETIDAS À CICLAGEM NATURAL

Leonardo Silveira¹, Alexandre Valdo²

Centro de Tecnologia Mineral CETEM/MCTI, Núcleo Regional do Espírito Santo NR-ES, Rodovia Cachoeiro x Alegre, Km 5, s/nº, Bairro Morro Grande, 29.300-970, Cachoeiro de Itapemirim – ES, (Brasil)

leolysil@cetem.gov.br; www.cetem.gov.br

² UNES – Faculdade Espírito Santo. Rua Moreira, 22, Independência. 29306-017 – Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo – ES, (Brasil)

alexandrevaldo@hotmail.com - www.unes.edu.br

RESUMO

A perda de brilho de uma rocha ornamental está relacionada principalmente a fatores petrográficos (microdescontinuidades, diafaneidade, grau de alteração mineral, entre outros). A mineralogia tem considerável influência no que tange a velocidade de alteração. Os planos de clivagem mineral representam feições naturais, enquanto que o histórico evolutivo da rocha, bem como as diferentes etapas de industrialização pode imprimir outros tipos de descontinuidades. Logo, existem fatores intrínsecos à rocha que condicionam a resistência da mesma em preservar suas propriedades reflexivas. Este trabalho apresenta os resultados de perda de brilho ladrilhos de quatro rochas ornamentais brasileiras submetidas à ciclagem natural. Este estudo é uma contribuição experimental considerando as variáveis petrográficas que mais influem na perda de brilho de uma superfície rochosa polida. As rochas utilizadas foram definidas considerando aspectos texturais, estruturais e mineralógicos distintos, bem como serem de uso consagrado pelo setor, a saber: 1 – granada gnaiss (Amarelo Ornamental), 2 – biotita monzogranito com textura equigranular fina (Cinza Corumbá), 3 – norito (Preto São Gabriel), 4 – charnockito (Verde Labrador). Para cada tipo de rocha foram selecionados três ladrilhos polidos e submetidos a ciclagem natural. Ao todo, foram realizadas medições de brilho a cada 14 dias o que totalizou 7.800 valores de brilho obtidos ao longo de 13 ciclos, dando ao todo 182 dias de ciclagem. Das rochas estudadas o granito Cinza Corumbá foi a que apresentou a menor perda de brilho entre a primeira e a última etapa (12,5%). Esta rocha apresenta aproximadamente 72% de quartzo e feldspato potássico, o que corrobora a ideia de que minerais com ponto de fusão baixo tendem a ser mais resistentes ao intemperismo. O granito Preto São Gabriel que apresenta quase que 60%

de andesina (plagioclásio cálcico de alta temperatura) perdeu 20,5% de brilho. Tais constatações indicam que, em relação à aplicação, é interessante considerar a quantidade de quartzo e feldspato potássico na rocha. Em relação ao granito Verde Labrador, a característica marcante é a coloração verde do feldspato potássico. Isso se deve a um acúmulo de gás carbônico no retículo cristalino deste mineral e que, quando é submetido à contração e expansão devido à ciclagem, o gás carbônico é liberado no ambiente e assim o mesmo passa a apresentar sua coloração original. Dentre todas as rochas estudadas o Amarelo Ornamental teve a maior perda de brilho (22,5%). Embora a quantidade de quartzo e feldspato potássico nesta rocha seja alto (70%) a sua coloração amarela, principalmente nos cristais de feldspato potássico, evidencia elevado grau de alteração deste mineral. Diante dos resultados obtidos é possível concluir que rochas que apresentam em sua constituição minerais com alto ponto de fusão são ideais para revestimento de ambientes internos e não em locais em que exista exposição às intempéries. A quantidade de quartzo e feldspato potássico, na maioria dos casos, pode ser utilizada como um bom indicador quanto à resistência a alterabilidade. O grau de alteração mineral, principalmente em feldspatos, deve ser um fator a ser considerado em projeto para a definição de uma rocha ornamental em ambiente externo.

PALAVRAS-CHAVE: Perda, Brilho, Rochas Ornamentais.

ABSTRACT

The loss of brightness in dimension stones is mainly related to petrographic factors (micro-discontinuities, diaphaneity, and degree of mineral weathering, among others). Mineralogy considerably affects the change speed. The mineral cleavage planes represent natural features, whereas the stone evolutionary history as well as the different manufacturing stages may cause other types of discontinuities. Thus, there are factors intrinsic to the stone that affect its resistance to preserve its reflective properties. The current study presents the results concerning the loss of brightness in tiles derived from four Brazilian dimension stones subjected to natural cycling. It is an experimental contribution with respect to the petrographic variables that most influence the loss of brightness in polished rocky surfaces. The herein used stones were defined according to distinct textural, structural and mineralogical aspects, besides the fact that they are widely used by the industry, namely: 1 - garnet gneiss (Yellow Ornamental), 2 - biotite

monzogranite with fine equigranular texture (Corumbá Grey), 3 - norite (Black São Gabriel), 4 - charnockite (Labrador Green). Three polished tiles subjected to natural cycling were selected for each type of stone. Brightness measurements were performed every 14 days, totaling 7,800 brightness values throughout 13 cycles, in a total of 182 cycling days. The Corumbá Grey Granite showed the least loss of brightness among the studied stones between the first and the last stage (12.5%). This stone is composed of approximately 72% quartz and potassium feldspar, and it corroborates the idea that minerals with low melting point tend to be more resistant to weathering. The Black São Gabriel Granite, which is composed of almost 60% andesine (high-temperature calcic plagioclase), lost 20.5% of its brightness. These findings indicate that, regarding the application, it is worth taking into consideration the amount of quartz and potassium feldspar in the stone. The outstanding feature of the Labrador Green Granite is the potassium feldspar green color, which comes from the carbon dioxide accumulation in the crystal reticulum of this mineral. Whenever this mineral is subjected to contraction and expansion due to cycling, the carbon dioxide is released into the environment and the mineral begins to show its original color. The Ornamental Yellow showed the highest loss of brightness (22.5%) among all the studied stones. Although the amount of quartz and potassium feldspar is high (70%) in this stone, its yellow color, especially in the potassium feldspar crystals, indicates high degree of weathering in this mineral. Based on these results, we conclude that stones composed of high-melting-point minerals are best applied to indoor environments and not to locations where they are exposed to the elements. The amount of potassium feldspar and quartz can be used as good indicator of resistance to cycling effects, in most cases. The degree of mineral weathering, mainly in feldspars, should be a factor to be taken into consideration in projects that define external-use dimension stones.

KEYWORDS: Loss, Brightness, Dimension Stones.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com os estudos realizados no ano de 2014 pela Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS, 2015) no *ranking* mundial, a China se destaca como a maior importadora, exportadora e produtora do setor de rochas ornamentais. O Brasil encontra-se em 6º lugar, conseguindo superar a China no mercado dos EUA, tanto no faturamento quanto em

volume físico. No Brasil, a região sudeste é responsável por 60% da produção de rochas ornamentais destacando o estado de São Paulo com o consumo de 45% da produção brasileira para revestimento e ornamentação (ABIROCHAS, 2015).

O levantamento realizado pelo Centro Brasileiro dos Exportadores de Rochas Ornamentais (CENTROROCHAS, 2015), que utiliza como base os números do Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC), o Espírito Santo representou 74,8% das exportações realizadas pelo Brasil em 2014, liderando o *ranking* na participação dos negócios. No que diz respeito aos produtos manufaturados, esse percentual é ainda maior, alcançando a marca de 93,75% em valor e de 94,73% em volume, colocando o Espírito Santo como o maior exportador de manufaturados do Brasil. O granito e o mármore extraídos no Espírito Santo, que é considerado um estado tradicional no segmento, atraem compradores internacionais, devido sua diversidade e beleza. São rochas exóticas, clássicas e com variações de textura e de cores que movimentam as exportações capixabas e brasileiras (CENTROROCHAS, *Op. Cit*).

Com o crescimento e desenvolvimento do setor de rochas ornamentais e suas aplicações em edificações, esculturas e artes funerárias, teve-se a necessidade de se realizar estudos específicos com vista a garantir a segurança e durabilidade das construções, onde as rochas são submetidas a diversos tipos de ensaios tecnológicos com a finalidade de distinguir suas propriedades obtendo, parâmetros químicos, físico-mecânicos e petrográficos. Em relação a esse assunto, pode-se citar os seguintes trabalhos: Queiroz (2007), Ribeiro (2008, 2013), Maia (2004), Lima (2006), Gomes (2001), entre outros. No Brasil, nas regiões litorâneas, onde as condições climáticas tem ação fundamental sobre as rochas (vento, sal, agentes químicos, umidade, partículas finas de areia e poluição automotiva), é comum encontrar revestimentos externos e fachadas de edifícios com alterações como perda de brilho, manchamento, alteração de cor e degradação física. Um dos sinais mais marcantes que denota o aparecimento de algum tipo de alteração no ladrilho de rochas ornamentais é a perda de brilho. Tal fato é mais frequentemente observado em ladrilhos que compõem um revestimento externo. A composição mineralógica da rocha, juntamente com outros fatores petrográficos (textura, estrutura, etc.) são variáveis que podem influir no comportamento do material frente aos agentes intempéricos.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é verificar o comportamento de quatro tipos de rochas ornamentais brasileiras que foram submetidas a ensaios em ciclagem natural, além de fazer o acompanhamento e medições com vista a subsidiar uma melhor aplicação destes materiais.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para cada tipo litológico foram selecionados três ladrilhos, com dimensões de 25x25x3cm, totalizando doze amostras. Após o polimento dessas amostras na Marmoraria Pessini Ltda, foi feita a primeira medição de brilho e anotados os dados da média obtida. Antes das medições os ladrilhos eram limpos com o auxílio de uma flanela de algodão seca com vista a retirar possíveis micropartículas de poeira. A medição de brilho com o aparelho medidor de brilho *Micro Tri-Gloss* da marca Gardner (Figura 1).



Figura 1 - Procedimento de limpeza e medição do brilho nos ladrilhos utilizados na pesquisa.

Após a primeira medição, as doze amostras foram colocadas em ciclagem natural em cima de uma cobertura de terraço e a cada duas semanas foram medidos os valores de brilho. Ao todo, foram realizadas 12 medições de brilho (Figura 2).

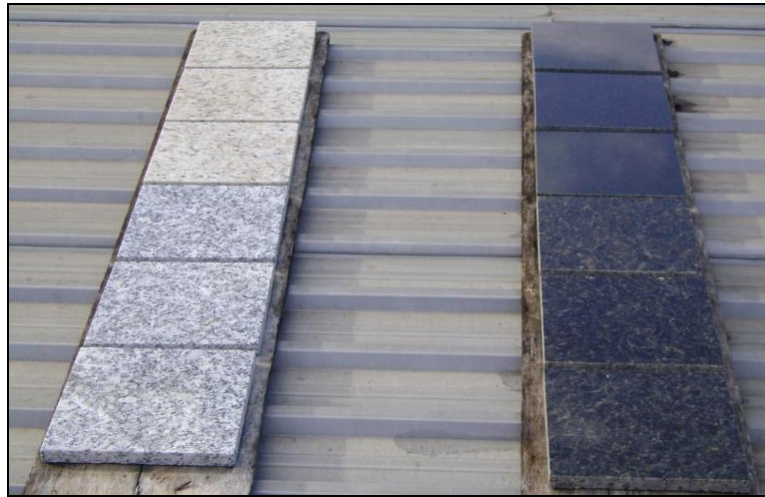


Figura 2 – Disposição das amostras que foram submetidos à ciclagem natural.

As medições de brilho sempre ocorreram no horário das 17h00min. As amostras ficaram por 169 dias em ciclagem natural, do dia 02 de março de 2013 a 17 de agosto de 2013. Ao todo, foram obtidas 7.800 valores de brilho, que dão confiabilidade na interpretação dos dados produzidos.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

São apresentados a seguir os resultados obtidos em relação à perda de brilhos das quatro rochas estudadas neste trabalho. Optou-se em sumarizar os resultados de brilho obtidos ao longo das treze etapas de modo sintético com vista a facilitar a sua visualização. O Quadro 1 mostra os resultados de brilho por ladrilho, enquanto que o Quadro 4 mostra o valor médio de brilho obtido nos três ladrilhos.

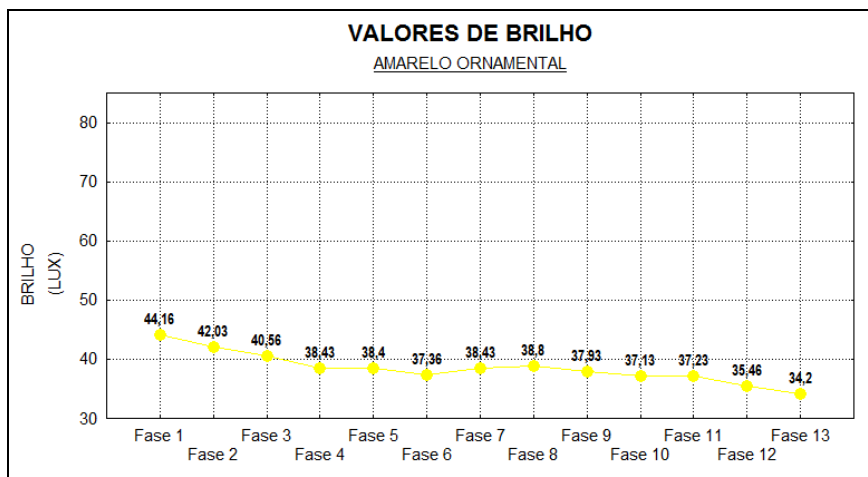
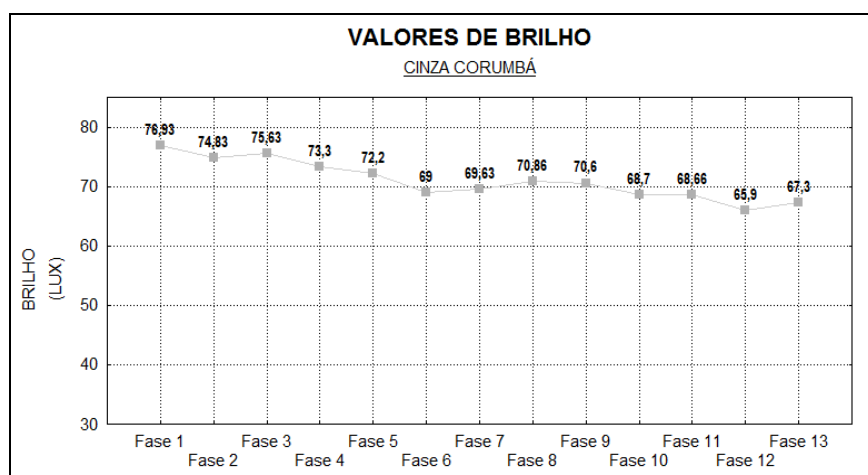
Tabela 1. Valores de brilhos obtidos durante os treze ciclos.

Rocha	ladrilho	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5	Fase 6	Fase 7	Fase 8	Fase 9	Fase 10	Fase 11	Fase 12	Fase 13
		02/mar	16/mar	30/mar	13/abr	27/abr	11/mai	25/mai	08/jun	22/jun	06/jul	20/jul	03/ago	17/ago
AMARELO ORNAMENTAL	1	43.9	43.1	40.4	39.7	39.6	39.0	37.7	40.4	38.8	38.5	38.3	35.7	34.2
	2	42.0	38.4	38.1	35.0	35.0	34.7	36.9	35.7	36.6	34.1	34.2	33.9	32.4
	3	46.6	44.6	43.2	40.6	40.6	38.4	40.7	40.3	38.4	38.8	39.2	36.8	36.0
CINZA CORUMBÁ	1	78.9	76.9	79.5	76.0	75.0	69.6	73.8	73.4	72.2	70.2	71.4	69.2	69.2
	2	72.6	71.2	71.8	69.1	68.6	67.1	62.7	66.2	66.2	65.1	63.5	61.4	63.3
	3	79.3	76.4	75.6	74.8	73.0	70.3	72.4	73.0	73.4	70.8	71.1	67.1	69.4
PRETO SÃO GABRIEL	1	75.2	70.0	69.2	67.4	66.3	63.8	63.7	64.8	62.6	62.9	61.6	57.1	56.6
	2	79.5	74.0	73.7	71.5	69.8	66.9	68.1	69.4	66.0	67.7	65.1	62.3	64.6
	3	77.8	73.4	73.6	71.5	69.8	68.9	68.4	71.7	65.8	68.0	64.7	60.2	62.2
VERDE LABRADOR	1	73.5	70.3	70.4	69.1	69.0	67.2	67.3	67.8	65.2	66.4	63.0	61.1	62.7
	2	82.1	78.7	78.4	76.8	75.5	73.7	75.1	76.1	71.8	73.9	71.0	68.8	71.0
	3	81.3	76.4	76.2	73.7	71.8	71.5	70.4	72.3	68.8	69.6	67.6	64.1	66.4

Tabela 2. Valores médios finais de brilhos obtidos durante os treze ciclos.

	Fase 1 02/mai	Fase 2 16/mar	Fase 3 30/mar	Fase 4 13/abr	Fase 5 27/abr	Fase 6 11/mai	Fase 7 25/mai	Fase 8 08/jun	Fase 9 22/jun	Fase 10 06/jul	Fase 11 20/jul	Fase 12 03/ago	Fase 13 17/ago
Rocha	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media	Media
AMARELO ORNAMENTAL	44.16	42.03	40.56	38.43	38.4	37.36	38.43	38.8	37.93	37.13	37.23	35.46	34.2
CINZA CORUMBÁ	76.93	74.83	75.63	73.3	72.2	69.0	69.63	70.86	70.6	68.7	68.66	65.9	67.3
PRETO SÃO GABRIEL	77.5	72.46	72.16	70.13	68.63	66.53	66.73	68.63	64.8	66.2	63.8	59.86	61.13
VERDE LABRADOR	78.96	75.13	75.0	73.2	72.1	70.8	70.93	72.06	68.6	69.96	67.2	64.66	66.7

As figuras de 3 a 6 mostram os valores de brilhos ao longo das treze fases de ciclagem natural.

**Figura 3** – Valores de brilho para a rocha Amarelo Ornamental ao longo dos 13 ciclos.**Figura 4** – Valores de brilho para a rocha Cinza Corumbá ao longo dos 13 ciclos.

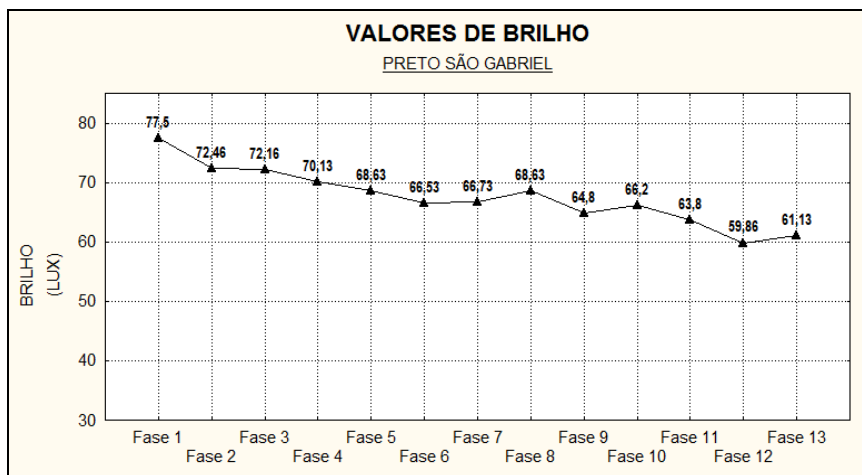


Figura 5 – Valores de brilho para a rocha Preto São Gabriel ao longo dos 13 ciclos.

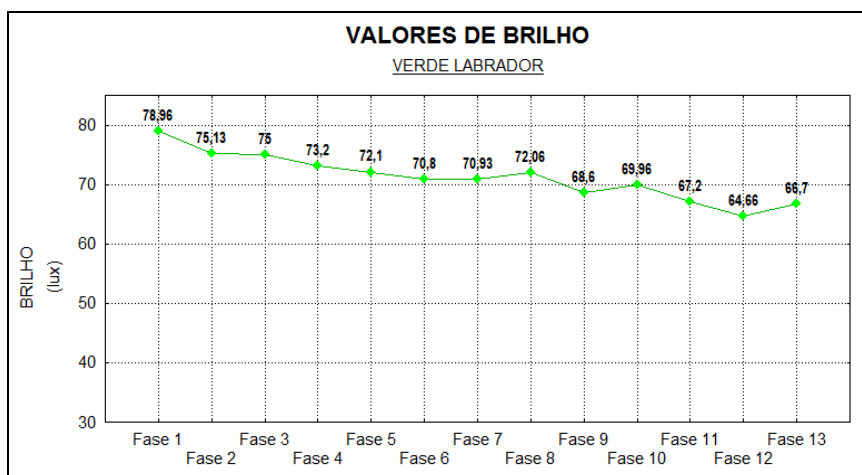


Figura 6 – Valores de brilho para a rocha Verde Labrador ao longo dos 13 ciclos.

A perda de brilho da rocha está relacionada principalmente a fatores petrográficos (microdescontinuidades, diafaneidade, grau de alteração mineral, entre outros). Logo, a mineralogia tem fator preponderante no que tange a velocidade de alteração. Em linhas gerais, a alterabilidade mineral é inversamente proporcional a Série de Cristalização de Bowen, isto é, minerais com maior ponto de fusão são mais sensíveis à alteração. O quartzo e o feldspato potássico, minerais muito comuns nas rochas ornamentais, apresentam baixos pontos de fusão. É de se esperar que rochas que contenham grandes quantidades desses minerais apresentem maior resistência à intempéries e assim preserve por mais tempo o seu brilho. Os planos de clivagem mineral representam microdescontinuidades naturais, enquanto que o histórico evolutivo da rocha pode imprimir à mesma outros tipos de descontinuidades (intracristalina, intercristalina e transcristalina). Aspectos relacionados à capacidade dos minerais em permitir que a luz o atravesse tem fundamental importância quando se analisa o brilho de uma superfície. A maior

quantidade de minerais transparentes ou translúcidos gerará uma maior refração da luz. Outro aspecto que merece ser considerado é o grau de alteração mineral. Tal fator está ligado ao histórico evolutivo da rocha e pode ser entendido como sendo a adaptação dos minerais para condições de temperatura e pressão da superfície terrestre. Quanto maior o grau de alteração menor a capacidade da superfície em refletir a luz. É possível notar que existem fatores intrínsecos à rocha que condicionam a resistência da mesma em preservar suas propriedades reflexivas. Das rochas estudadas o granito Cinza Corumbá foi a que apresentou a menor perda de brilho entre a primeira e a última etapa (12,5%). Esta rocha apresenta aproximadamente 72% de quartzo e feldspato potássico, o que corrobora a ideia de que minerais com ponto de fusão baixo tendem a ser mais resistentes ao intemperismo. O granito Preto São Gabriel que apresenta quase que 60% de andesina (plagioclásio cálcico de alta temperatura) perdeu 20,5% de brilho. Tais constatações indicam que, em relação à aplicação, deve-se considerar a quantidade de quartzo e feldspato potássico na rocha. Em relação ao granito Verde Labrador, que em termos geológicos se trata de um Charnockito, que pode ser entendido como um granito com hiperstênio, a característica marcante é a coloração verde do feldspato potássico. Isso se deve a um acúmulo de gás carbônico no retículo cristalino deste mineral e que, quando é submetido à contração e expansão devido à ciclagem, o gás carbônico é liberado no ambiente e assim o mesmo passa a apresentar sua coloração natural, geralmente bege. Dentre todas as rochas estudadas o Amarelo Ornamental teve a maior perda de brilho (22,5%). Embora a quantidade de quartzo e feldspato potássico nesta rocha seja alto (70%) a sua coloração amarela, principalmente nos cristais de feldspato potássico, evidencia elevado grau de alteração deste mineral.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos é possível concluir que rochas que apresentam em sua constituição minerais com alto ponto de fusão devem ser utilizadas principalmente em ambiente internos e não em locais em que exista exposição à intempéries. A quantidade de quartzo e feldspato potássico, na maioria dos casos, pode ser utilizada como um bom indicador quanto à resistência a alteração química. O grau de alteração mineral, principalmente em feldspatos, deve ser um fator a ser considerado em projeto para a definição de uma rocha ornamental para uso externo. Para trabalhos futuros pode-se sugerir a medição das microdescontinuidades presentes na rocha com o objetivo de quantificar a importância deste aspecto no conjunto de fatores que influenciam na

perda de brilho da rocha. Outro trabalho que pode ser realizado é uma análise petrográfica direcionada para identificação do grau de alteração dos minerais, visto que, tal fator, em muitos casos, inviabiliza a utilização da rocha em revestimentos externos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS. Disponível em: <<http://www.abirochas.com.br/mercado.php>>. Acesso em: 23 fev. 2016.

CENTRORochas. **Informativo das exportações de rochas.** Disponível em: <<http://www.centrorochas.org.br/>>. Acesso em: 18 fev. 2015.

GOMES, R. L. **Características tecnológicas e alterabilidade dos compartimentos entablamento e colunata de derrames basálticos da porção setentrional da bacia do Paraná.** 2001. Tese de Doutorado. (Doutor em engenharia. Área: Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-01072008-104439/pt-br.php>>. Acesso em: 08 jul. 2013.

LIMA, M. A. B. **Estudo do comportamento dos Gnaisses Casablanca, Juparaná Delicato e Giallo Falésia (Ceará-Brasil) em atmosfera salina.** Tese de Doutorado. Título de Doutorado em Geologia Regional. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2006. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/dou_mangelica_lima.pdf>. Acesso em: 19 set. 2013.

MAIA, S. M. C. **Estudo integrado geológico/tecnológico de rochas: os granitos flores e jacarandá, RN.** 2004. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal/RN. Disponível em: <http://bdtd.bczm.ufrn.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=297>. Acesso em: 19 set. 2013.

OLIVEIRA, P. C. **Caracterização geológica-geotécnica de diferentes litotipos basálticos: Basalto denso, basalto vesículo-amigdaloidal e brecha basáltica.** 2012. Dissertação de Mestrado em Ciências – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

QUEIROZ, J. P. C. **Estudo petrográfico e caracterização tecnológica do granito Santa Cecília-ES.** Natal, Rio Grande do Norte, 2007. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2007-104-00.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2013.

RIBEIRO, R. C. **Estudo de alterabilidade de rochas silicáticas para aplicação ornamental.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/series_srmi/srmi-10.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2013

RIBEIRO, W. J. M. **Estudo comparativo de alterabilidade acelerada de três fácies comerciais do sienito marrom imperial.** Programa de pós-graduação em Engenharia Mineral – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011. Disponível em: <http://www.ufpe.br/ppgeminas/images/word/2011/wagner_medeiros.pdf>. Acesso em: 19 set. 2013.

USO DA CORRELAÇÃO ENTRE IMAGENS NA CLASSIFICAÇÃO DA DESCARACTERIZAÇÃO SUPERFICIAL DE ROCHAS ORNAMENTAIS SUBMETIDAS AO ATAQUE QUÍMICO.

Thiago M. Bolonini¹, Antônio M. Godoy², Lara Cinthia A. S. Bolonini³, Leonardo Luiz L. da Silveira⁴,
Elton S. dos Santos⁵

^{1, 4, 5} Centro de Tecnologia Mineral CETEM/MCTI, Núcleo Regional do Espírito Santo NR-ES, Rodovia Cachoeiro x Alegre, Km 5, s/nº, Bairro Morro Grande, CEP 29.300-970, Cachoeiro de Itapemirim – ES (Brasil). tbolonini@cetem.gov.br; www.cetem.gov.br

² Departamento de petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista UNESP, Av. 24-A, nº 1515, C. P. 178, CEP 13506-900, Rio Claro, São Paulo (Brasil). mgodoy@rc.gov.br

³ Universidade de Vila Velha UVV, Curso de Geologia, Av. Comissário José Dantas de Melo, nº 21, Bairro Boa Vista, CEP 29.102-920, Vila Velha – ES (Brasil). lara_saar@yahoo.com.br

RESUMO

O ensaio de determinação da resistência ao ataque químico simula efeitos de reagentes com os quais as rochas podem entrar em contato. Para auxiliar na avaliação dos danos causados pelo ataque químico, este trabalho utiliza imagens digitais dos litotipos e o coeficiente de correlação de Pearson “ r ” entre elas para classificar seus graus de descaracterização superficial. As rochas ornamentais estudadas são conhecidas como *Butterfly Beige*, *Butterfly Gold* e *Butterfly Green* e representam variedades de um quartzo-sienito com hiperstênio. Os reagentes, nas três variedades, provocaram perdas de brilho entre 7% e 20% ligadas a remoção da camada de resina, à oxidação de minerais ferromagnesianos como a biotita e o hiperstênio e à remoção do $\text{Fe}(\text{OH})_2$ das fraturas. O método utilizado para classificar o grau de descaracterização mostrou-se uma ferramenta importante para a quantificação de alterações superficiais nas rochas e mostrou que o *Butterfly Green* foi a variedade com a maior descaracterização superficial devido à reação, entre o HCl e o $\text{Fe}(\text{OH})_2$ presente em suas fraturas, que descoloriu a rocha.

PALAVRAS-CHAVE: petrografia, rochas ornamentais, coloração seletiva.

ABSTRACT

The chemical resistance determination test, simulates de effects caused by reagents with which can get in contact. To help in the damage caused by chemical attack evaluation, this work uses digital images of the rock types and the Pearson correlation coefficient "r" between them to classify their surface discharacterization degree. The studied dimension stones are known as Butterfly Beige, Gold Butterfly and Butterfly Green and represent varieties of quartz-syenite with hypersthene. The reagents caused brightness loss between 7% and 20%, for the three varieties, linked to the removal of the resin layer, to the oxidation of minerals such as biotite and hypersthene and to the Fe (OH)₂ removal of fractures. The method used to classify the degree of discharacterization proved to be an important tool for the quantification of superficial changes in dimension stones and showed that the Butterfly Green was the variety with the higher surface discharacterization due to the reaction, between HCl and Fe (OH)₂ present in their fractures which removed the color of the rock.

KEYWORDS: petrography, dimension stones, surface discharacterization.

1. INTRODUÇÃO

No que tange a alterabilidade, um dos grandes desafios enfrentados é quantificar e classificar a descaracterização causada pelas alterações ocorridas na superfície de uma determinada rocha (polida ou não). Para auxiliar na interpretação e quantificação dessas alterações este trabalho busca, com o uso de imagens, quantificar as descaracterizações estéticas superficiais dos litotipos comercialmente conhecidos como *Butterfly Beige*, *Butterfly Gold* e *Butterfly Green*, frente ao ensaio de determinação da resistência ao ataque químico, com base em medições diretas de brilho e no coeficiente de correlação linear de Pearson, calculados a partir de imagens das rochas ao natural e imagens obtidas após o ataque químico.

Nas rochas ornamentais a análise de imagens vem sendo utilizada, em diversas escalas, como ferramenta para quantificar alterações causadas por fenômenos físicos e/ou químicos decorrentes de intempéries (VAZQUEZ, 2011; TORQUATO *et al.*, 2008), para auxiliar na visualização dos resultados de suas análises e para especificação desses materiais rochosos (AIRES-BARROS *et al.*, 1991; MOTOKI *et al.*, 2006; GOKAY e GUNDOGDU, 2008; FIGUEIREDO *et al.*, 2004; CLEMENTE *et*

al., 2013). Entretanto, os estudos que utilizam as imagens para avaliar as alterações de cor nas superfícies das rochas ainda são pouco difundidos. O método proposto neste trabalho analisa a imagem em função dos valores dos pixels correlacionando-os e fornecendo base para a classificação da descaracterização superficial das rochas analisadas, pois se a superfície da rocha muda (em termos de cor) a imagem da superfície também irá mudar.

2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho é utilizar, junto às medições de brilho, imagens digitais para quantificar a descaracterização superficial das rochas através do cálculo do coeficiente de correlação entre as imagens, como ferramenta auxiliar a avaliação das intensidades das alterações ocorridas nas superfícies das rochas submetidas ao ensaio de determinação da resistência de rochas ornamentais ao ataque químico.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

As variedades de rochas ornamentais estudadas são conhecidas comercialmente como *Butterfly Beige* (Figura 1A), *Butterfly Gold* (Figura 1B) e *Butterfly Green* (Figura 1C) e correspondem a variedades de um quartzo-sienito com hiperstênio compostas basicamente por: Microclínio, quartzo, plagioclásio (oligoclásio), biotita, granada e hiperstênio.

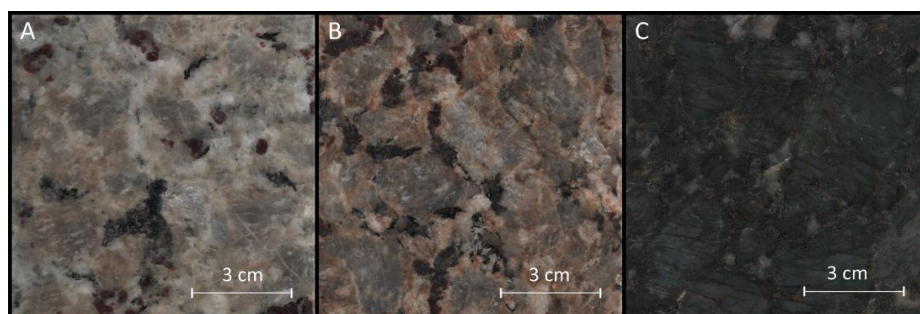


Figura 1. Rochas ornamentais submetidas à coloração seletiva por ataque químico.

Inicialmente foi realizada a análise petrográfica microscópica onde, devido às dimensões dos cristais de microclínio, foram utilizadas duas lâminas de cada variedade para identificação mineralógica. Para quantificação mineralógica foi utilizado o método da coloração seletiva, em placas medindo 10 cm x 15 cm x 2cm, aliada à classificação supervisionada de imagens segundo o

método proposto por Bolonini *et al.* (2016). Na sequência, 8 placas polidas de cada variedade, com arestas medindo 10 cm x 10 cm x 2 cm, foram cortadas para a realização do ataque químico com adaptações feitas ao anexo H da norma NBR:13818 (ABNT, 1997). Antes e após o ataque, 3 medições de brilho foram feitas em cada um dos 24 corpos de prova (1 corpo de prova por reagente x 3 rochas). Em seguida foram calculadas as médias para a obtenção dos valores iniciais e finais de brilho por corpo de prova e reagente para o cálculo da variação em porcentagem.

As superfícies destinadas ao ensaio foram digitalizadas antes e após o mesmo, com um scanner de mesa, gerando imagens *TIFF (Tagged Image File Format)* de dimensões de 10 cm x 10 cm. Na sequência, todas as imagens geradas foram recortadas, no *software CorelDraw*, para que fossem analisadas somente as áreas afetadas pelo ataque químico (8 cm de diâmetro). As imagens RGB de 24 bits resultantes, com 7.571 pixels, foram convertidas em imagens em escala de cinza de 8 bits. As imagens em escala de cinza foram importadas para o *software ImageJ* (NIH, 2014a) onde foi utilizado o *plugin Image Correlator* (NIH, 2014b) que compara um pixel em uma imagem com o pixel de mesma coordenada (Agora, X = Valor de X,Y da imagem ao natural; Y = Valor de X,Y imagem após os ciclos) na imagem a ser correlacionada, como na figura 2.

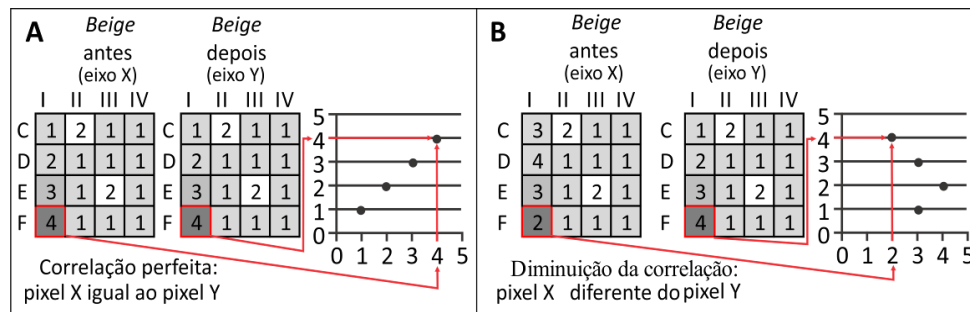


Figura 2. Representação do método utilizado para correlacionar imagens. **Legenda:** **A)** Exemplo de ausência de descaracterização; **B)** Exemplo de descaracterização; Eixos X e Y da imagem referem-se ao gráfico de correlação entre o valor do pixel na imagem Natural (X) e o valor do pixel na imagem 50 ciclos (Y).

As imagens foram correlacionadas aos pares (antes e depois do ensaio de ataque químico). O *software* fornece uma tabela com os valores dos pixels nas duas imagens. A correlação entre uma imagem e ela própria corresponde sempre ao padrão de imutabilidade das imagens (correlação perfeita).

O *ImageJ*, na sequência, fornece uma planilha com os valores X e Y (X= valor do pixel na digitalização ao natural e Y = valor do pixel na digitalização após os ciclos) para cada correlação. Estes valores são utilizados para calcular, no *software Excel*, o Coeficiente de Correlação Linear de

Pearson (r), de acordo com a equação 1 (Excel, 2007), onde: x = valor do píxel na imagem ao natural; \bar{x} = Média aritmética para os valores dos píxels na imagem ao natural; y = valor do píxel na imagem que se quer correlacionar; \bar{y} Média aritmética para os valores dos píxels na imagem que se quer correlacionar.

$$r = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \quad r \in [-1, 1] \quad (1)$$

O valor de r foi então calculado para cada reagente, ou seja, 8 vezes para cada litotipo. As correlações foram feitas, para cada reagente, entre a imagem ao natural e a imagem da rocha atacada. A classificação do valor de r segue a tabela 1, adaptada de Souza (2008), Cohen (1988) e Dancey e Reidy (2006).

Tabela 1. Classificação relacionada ao Coeficiente de Correlação Linear de Pearson.

Coeficiente de Correlação de Pearson (r)	Correlação	Descaracterização da rocha
$r = 1$	Perfeita Positiva	Nula
$0,8 \leq r < 1$	Forte positiva	Fraca
$0,5 \leq r < 0,8$	Moderada positiva	Moderada
$0,1 \leq r < 0,5$	Fraca positiva	Considerável
$0 < r < 0,1$	Ínfima positiva	Forte
0	Nula	Total descaracterização
$-0,1 < r < 0$	Ínfima negativa	Forte
$-0,5 < r \leq -0,1$	Fraca negativa	Considerável
$-0,8 < r \leq -0,5$	Moderada negativa	Moderada
$-1 < r \leq -0,8$	Forte negativa	Fraca
$r = -1$	Perfeita negativa	Nula

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Petrograficamente as rochas estudadas apresentam grande similaridade composicional, textural e estrutural. São rochas com textura inequigranular, hipidiomórficas, de granulação grossa a porfirítica, estrutura isotrópica, compostas por microclínio (58-62%), plagioclásio (20-22%), quartzo (11-15%), granada (2-6%), biotita (2%), hiperstênio (1%) e traços de zircão e apatita (Tabela 2). De acordo com a CPRM (2007), as trilhas de inclusões fluidas de CO₂ que rochas apresentam são a causa da coloração da variedade verde. Entretanto, como as inclusões são encontradas em todas as três variedades, acredita-se não ser esse o único fator que determina a cor na variedade verde.

Tabela 2. Resumo das características petrográficas das rochas submetidas ao ensaio de ataque químico.

Características Petrográficas		Butterfly Beige	Butterfly Gold	Butterfly Green
Granulação (cm)	Variação (predominância)	0,2 a 4,5 (1 a 4)		0,2 a 4 (1 a 4)
Alteração Mineral		Incipiente	Moderada	Incipiente
Microfissuras (predomínio)	Tipo	Intragranular e intergranular		
	Aberta/fechada	aberta		
	Preenchimento	Fe(OH) ₂ /Plagioclásio/Sericita		Fe(OH) ₂ /Sericita
	Grau de fraturamento	baixo	Médio	alto
Classificação petrográfica (STRECKEISEN, 1976)		Quartzo-sienito com hiperstênio		

O *Butterfly Beige* apresenta fraturas preenchidas por plagioclásio e, de forma mais dispersa por hidróxido ferroso Fe(OH)₂. Já o *Butterfly Gold*, produto da alteração da variedade *Butterfly Beige*, além da oxidação das biotitas, apresenta a alteração do hidróxido ferroso Fe(OH)₂ para hidróxido férrico Fe(OH)₃ devido à mudança de carga do Fe²⁺ para Fe³⁺ provocada pela ação intempérica. O Fe(OH)₂ é, provavelmente, proveniente da alteração de minerais ferromagnesianos como o hiperstênio e a biotita. Em relação ao brilho, todos os reagentes provocaram alterações nesta propriedade, nas três variedades, com valores compreendidos entre 7% e 20% de perda (Tabela 3).

Tabela 3. Resultados, em porcentagem, da perda de brilho das rochas no ataque químico.

Reagentes	Tempo de exposição	Butterfly Beige	Butterfly Gold	Butterfly Green
KOH 30 g/L	96 h	10,2 %	10,5 %	14,3 %
KOH 100 g/L	96 h	16,7 %	7,4 %	16,1 %
HCl 3% v/v	96 h	15,6 %	15,3 %	14,0 %
HCl 18% v/v	96 h	15,3 %	10,5 %	13,9 %
NH₄Cl 100 g/L	24 h	15,3 %	8,2 %	13,3 %
C₆H₈O₇ 100 g/L	24 h	16,5 %	12,5 %	19,2 %
C₃H₆O₃ 5% v/v	24 h	11,9 %	12,6 %	12,2 %
NaClO 20 mg/L	24 h	12,5 %	11,8 %	11,4 %

Legenda: KOH – hidróxido de potássio; HCl – ácido clorídrico; NH₄Cl – cloreto de amônio; C₆H₈O₇ – ácido cítrico; C₃H₆O₃ – ácido láctico; NaClO – hipoclorito de sódio.

A perda do brilho nos três casos está ligada a remoção da camada de resina, à oxidação de minerais ferromagnesianos como a biotita e o hiperstênio e à remoção do Fe(OH)₂ das fraturas. Para o *Butterfly Beige* o KOH 100 g/L foi o reagente que provocou a maior perda de brilho por remover a camada de resina.

Para o *Butterfly Gold* a maior perda de brilho foi detectada no ataque com o ácido clorídrico (HCl) na concentração 3% v/v. Teoricamente, a intensidade da alteração deveria ser diretamente proporcional ao aumento da concentração do reagente de 3% v/v para 18% v/v. Entretanto, ao observar os corpos de prova, verifica-se que nas porções centrais dos mesmos onde foram realizadas as medições de brilho (eixo horizontal) temos distribuições mineralógicas distintas: no corpo de prova ensaiado com o HCl com concentração em 3% v/v há uma concentração maior de biotita em relação à mesma região no corpo de prova ensaiado com o HCl com concentração em 18% v/v que fez com que a perda de brilho fosse maior com o ácido em concentração mais baixa. Para o *Butterfly Green* o reagente que mais afetou o brilho foi o ácido láctico ($C_6H_8O_7$) removendo parcialmente o $Fe(OH)_2$ de suas fraturas e removendo a camada de resina.

A análise visual mostra que, mesmo não representando as maiores perdas de brilho, o HCl em suas duas concentrações foi o reagente que provocou as alterações mais severas nas rochas. Este fato é corroborado pelos valores de “*r*” calculados com base nas imagens (Tabela 4 e Figura 4) das superfícies dos corpos de prova.

Tabela 4. Classificação da descaracterização em função do coeficiente de correlação linear de Pearson (*r*).

Reagente	Variedades					
	<i>Butterfly Beige</i>		<i>Butterfly Green</i>		<i>Butterfly Gold</i>	
	<i>r</i>	Descaracterização	<i>r</i>	Descaracterização	<i>r</i>	Descaracterização
KOH 30 g/L	0,9	Fraca	0,9	Fraca	0,9	Fraca
KOH 100 g/L	1,0	Nula	0,9	Fraca	1,0	Nula
HCl 3% v/v	0,8	Fraca	0,7	Moderada	0,8	Fraca
HCl 18% v/v	0,9	Fraca	0,7	Moderada	0,9	Fraca
NH ₄ Cl 100 g/L	1,0	Nula	1,0	Nula	1,0	Nula
C ₆ H ₈ O ₇ 100 g/L	1,0	Nula	1,0	Nula	1,0	Nula
C ₃ H ₆ O ₃ 5% v/v	0,9	Fraca	1,0	Nula	0,9	Fraca
NaClO 20 mg/L	1,0	Nula	1,0	Nula	1,0	Nula

Para o *Beige*, o menor valor de correlação foi $r = 0,8$ (HCl 3% v/v, descaracterização fraca), para o *Green* o menor valor de correlação foi $r = 0,7$ (HCl 3% v/v e 18% v/v, descaracterização moderada) e para o *Gold* o menor valor foi $r = 0,8$ (HCl 3%, descaracterização fraca), tabela 4. Os resultados mostram que o *Green* foi a variedade com a maior descaracterização superficial e que coeficiente de correlação representa melhor os efeitos causados pelo ataque químico. As alterações que levaram à diminuição da correlação entre as imagens das superfícies das rochas dessa variedade são devidas à remoção da camada de resina, por corrosão, permitindo que o

ácido reagisse com o $\text{Fe}(\text{OH})_2$ presente em suas fraturas descolorindo a rocha por ter removido sua coloração verde característica. Este mesmo efeito não ocorreu nas outras variedades, pois as fraturas no *Butterfly Beige* estão preenchidas, em sua maioria por plagioclásio e o *Butterfly Gold*, além de ter fraturas preenchidas por plagioclásio, possui o hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Ao analisar, de forma conjunta, os dados de brilho e de correlação (Figuras 5A, B e C), é possível notar que as variáveis são independentes. O coeficiente de correlação não é afetado por uma alteração no brilho, uma vez que são considerados os valores de cor dos pixels para seu cálculo e esta propriedade não é necessariamente afetada por uma alteração no valor de brilho. Exemplos disso foram os reagentes KOH 30 g/L, KOH 100 g/L, NH_4Cl 100 g/L, $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ 100 g/L, $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ 5% v/v, NaClO 20 mg/L, ou tiveram descaracterizações nulas ou fracas devido aos valores muito próximos ou iguais a 1 (Tabela 1) obtidos para o coeficiente de correlação e apresentaram alterações diversas em seus valores de brilho (Figuras 5A, 5B e 5C).

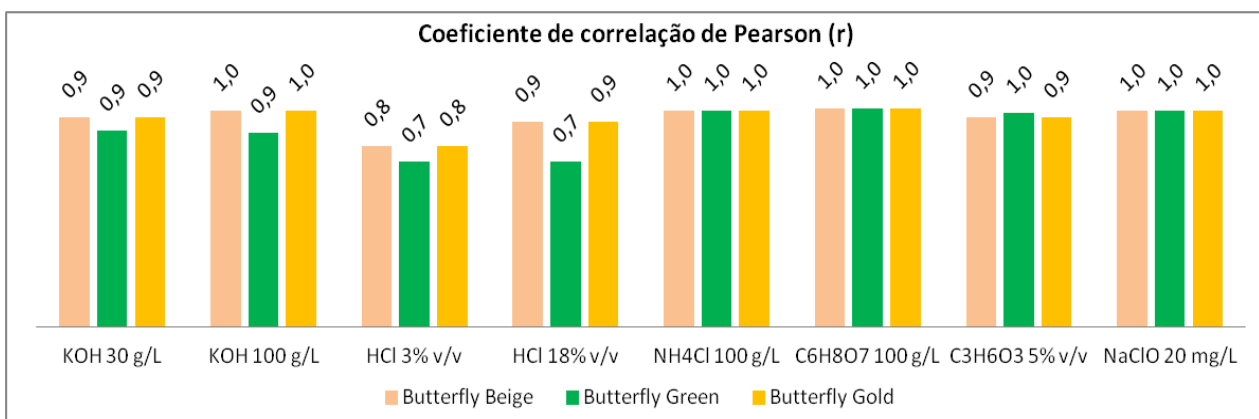


Figura 4. Ilustração dos valores de r para as rochas estudadas.

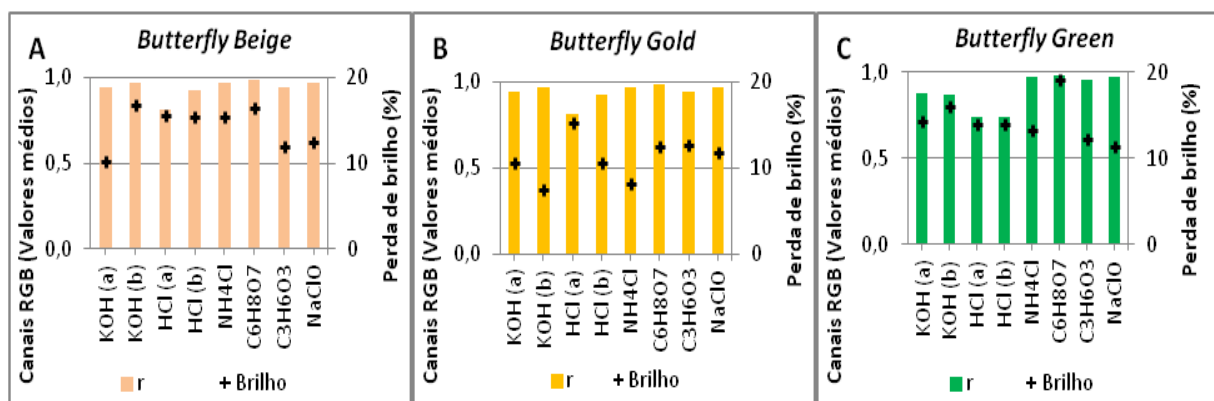


Figura 5. Relação entre a perda de brilho e o coeficiente correlação. **Legenda:** KOH (a) – hidróxido de potássio 30 g/L; KOH (b) – hidróxido de potássio 100 g/L; HCl (a) – ácido clorídrico 3% v/v; HCl (b) – ácido clorídrico 18% v/v.

5. CONCLUSÃO

Petrograficamente as rochas estudadas apresentam grande similaridade composicional, textural e estrutural. Em relação ao brilho, todos os reagentes provocaram alterações nesta propriedade, nas três variedades, com valores compreendidos entre 7% e 20% de perda. A perda do brilho nos três casos está ligada a remoção da camada de resina, à oxidação de minerais ferromagnesianos como a biotita e o hiperstênio e à remoção do $\text{Fe}(\text{OH})_2$ das fraturas.

O ensaio de ataque químico revelou, também, que algumas concentrações de ácido clorídrico podem gerar alterações severas nas superfícies, principalmente do *Butterfly Green*, variedade com a maior descaracterização superficial devida à remoção da camada de resina, por corrosão, permitindo que o ácido reagisse com o $\text{Fe}(\text{OH})_2$ presente em suas fraturas descolorindo a rocha. Este mesmo efeito não ocorreu nas outras duas variedades, pois as fraturas no *Butterfly Beige* estão preenchidas, em sua maioria por plagioclásio e o *Butterfly Gold*, além de ter fraturas preenchidas por plagioclásio, possui o hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Ao analisar, de forma conjunta, os dados de brilho e de correlação é possível notar que as variáveis são independentes, pois o coeficiente de correlação não é afetado por uma alteração no brilho, uma vez que são considerados os valores de cor dos pixels para seu cálculo. O método mostrou-se uma ferramenta importante para a quantificação de alterações superficiais nas rochas.

6. AGRADECIMENTOS

À Guidoni Mineração Ltda, à CAPES processo: 3030/13-0, ao CNPq Processo: 141706/2012-0, à UNESP e ao Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, NR-ES.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13818 (Anexo H) Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaio: Determinação da resistência ao ataque químico.** Rio de Janeiro, 1997.

AIRES-BARROS, L. MAURÍCIO, A. M.; FIGUEIREDO, C. A. **Definição de um índice de alterabilidade de rochas por aplicação de métodos de análise de imagem baseados na morfologia matemática binária.** Geociências, Revista Universidade de Aveiro, vol. 5, fasc. 1.2. 95-102p. 1991.

BOLONINI, T. M. ; SAAR, L. C. A.; GODOY, A. M.; SILVEIRA, L. L. L. **Quantificação mineralógica modal macroscópica, em rochas ornamentais submetidas à coloração seletiva por ataque**

químico, através da classificação supervisionada de imagens. In: Anais do IX Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. 2016.

CLEMENTE, I. M.; ARTUR, A. C.; NOGUEIRA NETO, J. A. **Análise de imagens na avaliação do ataque químico em rochas carbonáticas das bacias Potiguar e do Araripe.** Estudos Geológicos, Vol. 23, nº 2, 16p.2013.

COHEN, Jacob. **Statistical power analysis for the behavioral sciences.**Hillsdale, NJ, Erlbaum, 1988.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Geologia da Folha de Mantena - SE.24-Y-A-VI - Programa Geologia do Brasil - nota explicativa da folha Mantena.** Escala 1:100.000. Brasília, 2007.

DANCEY, C. e REIDY, J. **Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows.** Porto Alegre, Artmed, 2006.

EXCEL. Microsoft office – Excel. **Função Pearson.** Disponível em: <https://support.office.com/pt-br/article/PEARSON-Fun%C3%A7%C3%A3o-PEARSON-0c3e30fc-e5af-49c4-808a-3ef66e034c18?ui=pt-BR&rs=pt-BR&ad=BR>. Acesso em: 15 de outubro de 2013.

FIGUEIREDO, P.; FIGUEIREDO, C. A.; AIRES-BARROS, L.; FLAMBÓ, A. **Contribuição para o estudo cromático das rochas da capela do Palácio da Bemposta.** Proelium, Revista da Academia Militar. VI série, nº1 , 168-178p., 2004.

GOKAY, M. K.; GUNDOGDU, I. B. **Color identification of some Turkish marbles.**Construction and Building Materials.Vol. 22, 1342–1349p. 2008.

MOTOKI, A.; ZUCCO, L. L.; SICHEL, S. E.; AIRES, J. R. ; PETRAKIS, G. H. **Desenvolvimento da técnica para especificação de cores e a nova nomenclatura para classificação de rochas ornamentais com base nas cores medidas.** São Paulo, UNESP, Geociências, vol. 25, nº 4, 403-415p., 2006.

NIH. National Institutes of Health. U.S. Department of health and Human Services. **Image Correlator Plugin** (2014b). Disponível em: http://imagej.nih.gov/ij/plugins/image_correlator.html. Acesso em: 14.04.2014.

NIH. National Institutes of Health. U.S. Department of health and Human Services. **ImageJ Software** (2014a). Disponível em: <http://imagej.nih.gov/ij/index.html>. Acesso em: 14.04.2014.

SOUZA, A. **Coefficiente de correlação de Pearson.** Mestrado em Gestão (MBA). Departamento de Matemática da Universidade dos Açores. Portugal (2008a). Disponível em: http://www.aurea.uac.pt/pdf MBA/coef_correl_Pearson.pdf. Acesso em: 10/03/2014.

STRECKEISEN, A. **To each plutonic rock its proper name.** *Earth-Science Reviews* Vol. 12, p.1-33, 1976.

TORQUATO, M. F. B.; TORQUATO, J. R. F.; FIGUEIREDO, C. A. M.; NOGUEIRA NETO, J. A. N. **Estudo dos granitos cearenses “Vermelho Filomena, Meruoca Clássico e Verde Ceará” por análise digital de imagem em câmara com atmosfera satura em SO₂.** Geonomos.Vol. 16, nº 2, 51-52p., 2008.

VAZQUEZ, M. A.; GALÁN, E.; GUERRERO, M. A.; ORTIZ, P. **Digital image processing of weathered stone caused by efflorescences: A tool for mapping and evaluation of stone decay.**Construction and Building Materials. Vol. 25, 1603–1611p., 2011.

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE LAVRA DE ROCHA ORNAMENTAL POR BANCADAS ULTRA ALTAS NAS MINERAÇÕES DE GRANITO NO NORTE DO ESPÍRITO SANTO

Heitor Passamani Fazôlo¹, Gleicon Roberto de Sousa Maior²

¹Estudante, Instituto Federal do Espírito Santo

² Professor, Instituto Federal do Espírito Santo

heitor.passamani@gmail.com

RESUMO

As mineradoras do ramo da rocha ornamental como todas as outras empresas necessitam extrair cada dia mais minério, com menos tempo e com um custo menor, potencializando assim seus lucros. Uma das formas de continuar competitivo e na escolha do método mais adequado para aplicação em sua frente de lavra, um método relativamente novo no Brasil é a exploração de granito por bancadas ultra altas (BUA). Bancadas ultra altas se distinguem das bancadas regulares obviamente pela sua altura, enquanto nos métodos de bancadas regulares sua face vertical gira em torno de 20,0 metros, as BUA podem chegar a mais de 70,0 metros, assim extraíndo mais material, em menos tempo e com um custo menor por metro quadrado. As metodologias de lavra são parecidas com as das bancadas regulares, os furos são feitos com equipamentos de sondagem por produzirem furos mais precisos que os equipamentos utilizados para perfuração em rocha ornamental. Em seguida, o quadrote é desprendido do maciço com o corte por fio diamantado. Outra diferença está na forma de derrubada que é feito com explosivo na base do quadrote, a forma de detonação é conhecida como boca de lobo pela forma como são alocados os explosivos. Depois de derrubado é feito o corte secundário e por fim o desdobramento dos blocos. Este estudo tem o intuito de apresentar este novo método de lavra ainda não muito utilizado, porém com grande potencial para auxiliar no aumento da produção nacional de rochas ornamentais assim como serviu como diferencial para o incremento da produção no estado do Espírito Santo, tornando-o o maior produtor nacional deste bem mineral. Assim, far-se-á possível observar a aplicabilidade de tal método em diversos outros locais onde até então se imagina ser inviável a realização da exploração do bem mineral por questões técnicas.

PALAVRAS-CHAVE: exploração, granito, bancadas ultra altas, rocha ornamental, Espírito Santo.

ABSTRACT

The mining companies of the ornamental rock branch like all other companies need to extract ore each day, with less time and at a lower cost, thereby increasing its profits. One way to remain competitive and in choosing the most suitable method for application in front of mining, a relatively new method in Brazil is the granite exploitation by ultra high benches (BUA in portuguese). Ultra high benches are distinguished from regular stands obviously for its height, while the methods of regular stands its vertical face is around 20.0 meters, the BUA can reach over 70.0 meters, thus drawing more material in less time and at a lower cost per square meter. As mining methodologies are similar to those of regular benches, the holes are made with core drilling equipment for producing more accurate holes that the equipment used in ornamental rock drilling, then the rock square is unfastened of the rock mass with the cut of the diamond wire. Another difference is in the form of felling that is made with explosive in rock square base, the form of detonation is known as "mouth of wolf" by how explosives are allocated. After tipped the secondary cutting is done and finally the block splitting. This study aims to present this new mining method not yet widely used, but with great potential to help increase the national production of ornamental rocks as well as served as a differential to increase the production in the state of Espírito Santo, making it the largest national producer of this mineral products. So it's possible to observe the applicability of this method in several other places where so far were thought to be infeasible to carry out the exploration of mineral product for technical reasons.

KEYWORDS: exploitation, granite, ultra high benches, ornamental rock, Espírito Santo.

1. INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais são as rochas extraídas e aplicadas em obras de construção civil baseada nos padrões estéticos através de suas características pétreo-ornamentais. Desde a pré-história se tem evidências da utilização da pedra para variadas funções, inclusive para construção. A extração e o beneficiamento de rochas ornamentais é uma das maiores formas de geração de riquezas e empregos do estado do Espírito Santo.

O início da exploração destes bens minerais se deu de forma rudimentar, onde as atividades não apresentavam condições razoáveis de segurança e com equipamentos que na atualidade encontram-se defasados devido à atualização das tecnologias empregadas para tal atividade. Estas tecnologias foram inseridas de modo sistêmico e nos dias de hoje é possível explorar uma maior quantidade de rochas em períodos cada vez mais reduzidos.

Um dos exemplos dessas aplicações tecnológicas é a tecnologia de exploração de granito por bancadas ultra altas (BUA), uma prática inovadora que vem apresentando excelentes resultados, diminuindo o tempo de extração e aumentando o aproveitamento.

São consideradas BUA's aquelas que apresentam altura acima de 20,0 metros podendo chegar à alturas superiores à 70,0 metros. Esta metodologia é aplicada em maciços de rocha competente e com elevado gradiente topográfico onde não haveria possibilidade de se utilizar os métodos convencionais. Já em uso no noroeste do estado do Espírito Santo essa prática vem demonstrando ótimos resultados e seu uso vem crescendo a cada ano (VIDAL et al, 2014).

2. BANCADAS ULTRA-ALTAS

Devido às características físicas dos materiais e às grandes dificuldades de realizar a remoção destes por causa das áreas onde antes eram consideradas impossíveis ou de jazidas que se tornaram inviáveis para exploração da maneira convencional foi desenvolvida uma metodologia chamada de exploração de granito por bancadas ultra altas (BUA), para aplicação em bancadas superiores à 20,0 metros em relação à praça de trabalho podendo ultrapassar alturas de 70,0 metros (vide figura 1).

No início da aplicação de tal método, vários empecilhos surgiram dificultando a viabilidade de sua utilização: equipamentos, estudos estruturais, estudos ambientais, viabilidade econômica, aproveitamento. No entanto, com o avanço dos estudos sobre tal metodologia, novas tecnologias foram tomadas a fim de fomentar a aplicação da exploração de granito através das bancadas ultra altas. Desta forma, esses fatores complicadores vêm sendo superados e a sua aplicabilidade vem se tornando cada vez mais uma certeza e não somente uma aposta.

Basicamente a exploração funciona da seguinte forma: é especificado o local de corte do maciço rochoso (e conseqüentemente estipulada a altura para o painel (quadrote), então é realizado um aterro (formando-se então a praça de trabalho) até a base do mesmo de modo a possibilitar que os trabalhos subseqüentes sejam realizados de forma organizada, em seguida um quadrote é isolado do maciço com auxílio de fio diamantado e produtos controlados, tombado, recortada em

filões, que quando tombados dão origem as pranchas para futuro esquadrejamento em blocos (VIDAL et al, 2014).

A metodologia de extração de rocha ornamental pela tecnologia de bancadas ultra altas não se difere muito das bancadas regulares, segue a ordem das atividades para extração do bem mineral com este método alterando-se apenas as dimensões aplicadas para as BUA's.



Figura 1 – Bancada ultra-alta encontrada no Noroeste do Espírito Santo (MINERAÇÃO GUIDONI, 2016)

2.1 Perfuração

Assim como nas bancadas regulares, é necessário que seja feita perfurações na sua bancada gerando dois furos concorrentes, um vertical e outro horizontal (ver figura 2), por onde será passado o fio diamantado para realizar o corte no maciço. Porém, os furos com profundidade superiores a 10,0 metros costumam sofrer desvios significativos quando feitos com marteletes pneumáticos com brocas integrais e também com carretas de perfuração (GERALDI, 2011), comprometendo esta etapa, onde são realizados furos de até 70,0 metros, sendo assim os furos verticais e horizontais não se encontravam. Outro problema da perfuração com os equipamentos convencionais estão interligados à dificuldade de acesso aos pontos elencados para a instalação das perfuratrizes devido ao relevo acidentado e conseqüentemente o difícil acesso, e apesar de serem mais pesadas são utilizadas sondas que pela sua precisão se demonstram insubstituíveis, visto que estas se comportam bem melhor na situação de grandes esforços impostos pela rocha e grandes distancias a serem perfuradas.

Ao todo são realizados seis furos para o descolamento do quadroto do maciço pois os furos utilizados para um corte não são reutilizados para os cortes seguintes. Por exemplo, os furos dos cortes verticais são diferentes dos furos dos cortes horizontais a fim de evitar que o fio diamantado sofra desvios através de zonas de menor resistência.

Os furos coplanares devem ser interconectados a fim de que seja possível realizar a passagem do fio diamantado para o corte. Devido à grande dimensão dos furos para BUA's em alguns casos os furos não se encontram ficando afastados por distâncias mínimas, centímetros. Para solucionar esses casos, pequenas detonações são realizadas nas extremidades internas dos furos, geralmente com cordel e água, realizando-se então o encontro destes.

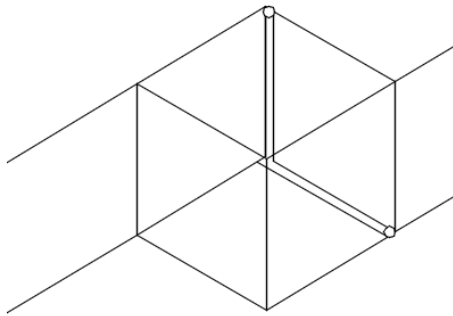


Figura 2 - Demonstração ilustrativa do encontro dos furos vertical e horizontal se encontrando (Adaptado de Vidal, 2014).

2.2 Separação do maciço - corte com fio diamantado

O corte com fio diamantado em bancadas ultra altas não se difere para o seu uso em bancadas regulares (vide figura 3), a maior diferença se dá na dimensão do fio e na sua torção. De acordo com Regadas (2006), são realizados furos coplanares que irão determinar a superfície a ser cortada (faces do quadrote), em seguida as polias guias ou auxiliares serão instaladas em função do corte a ser realizado. É passado por dentro do furo um cabo guia que é transportado com o auxílio de ar comprimido da entrada até a saída do furo, seguidamente o fio diamantado é amarrado neste cabo e é puxado até sair pelo outro furo. Depois do fio montado na máquina e nas polias ele deve ser torcido, esse procedimento consiste na aplicação de torção que podem variar de 1,5 a 2,0 voltas por metro de fio para se obter o desgaste homogêneo das pérolas (as voltas devem ser divididas pelas duas pontas do fio e deve ser dada no mesmo sentido do trançamento do cabo de aço). Com o fio já torcido segue a parte da emenda que consiste em engastar nas duas extremidades tubos de elementos de aço com rosca.

Com todos os passos anteriores realizados e o fio pronto para o corte, deve-se puxar o fio no sentido que irá circular permitindo assim verificar se o fio se encontra preso na rocha ou na polia evitando uma possível ruptura do mesmo.

Para se iniciar o corte deve ser aplicada uma baixa velocidade periférica, que deve ser aumentada gradativamente à medida que se obtenha o arredondamento das quinas de corte (na fase inicial o

fluxo de água deve ser maior). Após a fase inicial deve-se adequar a velocidade de corte linear do fio ao tipo de material cortado.

O fio diamantado deve transportar a quantidade necessária de água para a sua refrigeração, ao longo de toda a extensão do corte, de maneira a promover, também, a expulsão do material cortado. São recomendadas paralisações periódicas para a checagem do tamanho e do desgaste das pérolas.

Na fase de finalização do corte recomenda-se diminuir a velocidade de corte para diminuir o desgaste do fio diamantado que sofre mais pela diminuição do raio de curvatura do fio. Depois do corte concluído recomenda-se calcular a velocidade média de corte (área cortada em relação ao tempo gasto) e o desgaste das pérolas para o controle do desempenho do fio diamantado (MARCON et al, 2014).

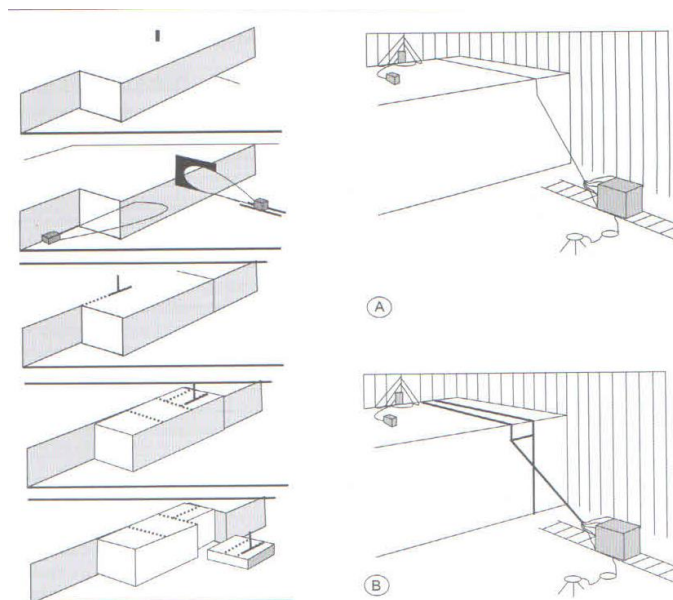


Figura 3 – Demonstração ilustrativa do desmonte com fio diamantado (VIDAL et al, 2014 apud JIMENO, 1996).

2.3 Desmonte - detonação com a malha característica chamada boca de lobo

Após o quadrote estar totalmente deslocada do maciço ela precisa ser derrubado. Porém, as tecnologias utilizadas para bancadas convencionais não podem ser aplicadas devido as dimensões e o peso do quadrote.

Neste caso, é utilizada a detonação conhecida popularmente como boca de lobo. Para realizar essa operação é necessária uma perfuratriz, a qual realiza duas carreiras de furos, uma plana e outra inclinada em 30°, de forma que as duas carreiras se encontrem no fundo do furo assim como é demonstrado na figura 4, analogamente ao corte de uma árvore por um lenhador, onde é feita

uma cunha para direcionar o lado para o qual o tronco deve cair (VIDAL et al, 2014). Para que a cunha seja arrancada da prancha é necessário um explosivo que libere um volume muito grande de gases, mas que possua baixa velocidade, no caso a pólvora negra, permitindo ao explosivo superar as forças de tração provenientes do quadrote e efetuar a tarefa com sucesso (JIMENO et al, 2003). Para facilitar a derrubada é feito um corte com fio diamantado paralelo a linha de furos inclinada, diminuindo assim os riscos de falha na operação e maximizando a expectativa de sucesso para a atividade.

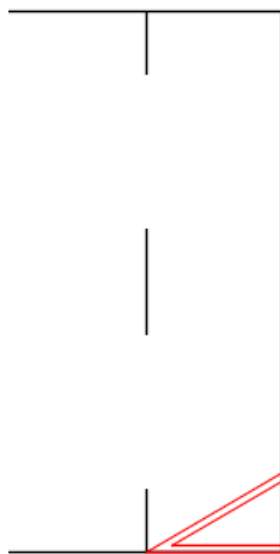


Figura 4 – Demonstração ilustrativa representando o plano de corte da boca de lobo (Adaptado de VIDAL et al, 2014).

2.4 Cama para amortecimento

Com terra e estéril proveniente de extrações anteriores é feita uma cama para amortecimento do quadrote quando este for derrubado, diminuindo as fraturas e conseqüentemente as perdas, outras cama semelhantes a esta são confeccionada para a derrubada das pranchas provenientes dos filões destacados do quadrote derrubado (MARCON, 2014 apud PINHEIRO, 2012).

2.5 Corte secundário- corte com fio diamantado

Novamente é empregado o corte com fio diamantado com as mesmas técnicas já detalhadas no tópico 2.2 “Separação do maciço”. Porém, agora para o corte secundário, destacando os filões do quadrote que em seguida darão origem as pranchas (vide figura 5-c).

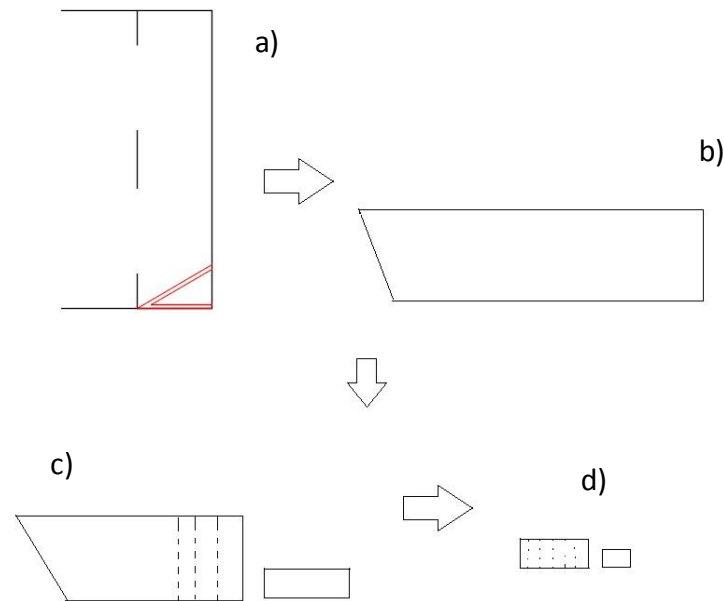


Figura 5 – Evolução do desmonte até etapa do bloco comercial. a) Uso da boca de lobo para derrubada do quadrote; b) Quadrote tombado; c) Corte secundário transformando quadrote em pranchas; d) esquadrejamento das pranchas em blocos (Elaboração dos autores)

2.6 Esquadrejamento dos blocos - perfuratriz de filão e cunha hidráulica

Depois das fatias cortadas e derrubadas entra em cena a perfuratriz de filão, que nada mais é que um conjunto de perfuratrizes, o que se demonstra necessário para acompanhar a produção do resto da pedreira e não ser um gargalo na extração dos blocos devido a sua alta taxa de perfuração.

Nessa etapa poderia ser utilizada a técnica de corte de granitos com fio diamantado, no entanto é mais viável a utilização das perfuratrizes de filão que permitem uma lavra seletiva de blocos sem defeitos do ponto de vista comercial.

Depois dos furos prontos, para separar os blocos são utilizadas cunhas metálicas introduzidas com auxílio de perfuratrizes pneumáticas de alta pressão (VIDAL et al, 2014).

2.7 Transporte eficiente - pás carregadeiras adaptadas para o transporte dos blocos

Por fim o transporte dos blocos é realizado por pás carregadeiras adaptadas para o transporte de blocos. Dando vazão a produção dos blocos na área de lavra, deixando a praça de trabalho livre, visto que essa é a forma mais eficiente de transportar os blocos até o pátio de estocagem, onde serão selecionados, medidos, enumerados e marcados (MAIOR, 2013).

3. CONCLUSÃO

À partir da necessidade de realizar a remoção dos bens minerais em áreas que antes eram consideradas inviáveis para exploração foi que se iniciaram estudos e experimentos, gerando como resultado uma nova forma de exploração e novas tecnologias para o setor de rocha ornamental.

Neste sentido, a opção técnica mais viável foi a exploração de granito por bancadas ultra altas (BUA), que com adaptações de tecnologias, já presentes no mercado, fez com que superássemos nossos próprios limites.

Frente a um mercado que se demonstra cada vez mais competitivo e mais exigente a introdução da metodologia de exploração de granito por bancadas ultra altas já se demonstrou viável e sua tendência é ser cada vez mais posta em prática pelas mineradoras, culminando em um acréscimo considerável a produção de granito no estado do Espírito Santo e em outros locais do Brasil.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GERALDI, J. L. P. **O ABC das escavações de rocha**. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2011.

JIMENO, C. P.; JIMENO, E. L.; BERMÚDEZ, P. G.; **Manual de perforación y voladura de rocas**. Editora Carlos López Jimeno, Madrid, 2003.

MAIOR, R. S. M.; Panorama da Mineração de Rochas Ornamentais no Estado do Espírito Santo com Ênfase na Lavra por Bancadas Ultra Altas. **Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral – PPGEMinas da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mineral**, Recife 2013.

MARCON, D. B.; CASTRO, N. F.; VIDAL, F. W. H.; Estudo da Aplicação da Tecnologia de Corte de Fio Diamantado na Extração de Granitos Comerciais. In: **Anais do IV Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais/ VIII Símposio de Rochas Ornamentais do Nordeste**, Campina Grande – Paraíba – Brasil, 2012.

MINERAÇÃO GUIDONI. Disponível em: <http://www.guidoni.com.br/pt_BR/jazidas/giallo-sofia.html>. Acesso em: 25/02/2016

REGADAS, I. C. M. C. Aspectos Relacionados às Lavras de Granitos Ornamentais com Fio Diamantado no Norte do Estado do Espírito Santo, Brasil. **Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Geotecnia**, São Carlos, 2006.

VIDAL, F. W. H.; PINHEIRO, J. R.; CASTRO, N. F.; CARANASSIOS, A. **Tecnologia de rochas ornamentais, pesquisa, lavra e beneficiamento**. Capítulo 4. Editora CETEM/MCTI, Rio de Janeiro, 2014.

BIODETERIORIZAÇÃO DO REVESTIMENTO EXTERNO DO CENTRO DE CONVENÇÕES DA UFPE

Samuel E. Paraíso¹, Felisbela M. C. Oliveira², Armando Marsden³, Kênia Correa⁴, Cristina Motta⁵

^{1,2,4} Programa de pós-Graduação em Engenharia Mineral, UFPE

^{3,5} Laboratório de Micologia Médica e Micoteca do Centro de Ciências Biológicas, UFPE

evaristoparaíso@gmail.com

RESUMO

As patologias associadas ao uso da rocha, nos monumentos históricos e nas várias edificações, apresentam-se sob vários aspectos, mas ocorrem em função dos agentes degradadores dos materiais pétreos. Segundo diversos autores, os agentes biológicos são também relevantes nos processos de decaimento dos materiais pétreos, especialmente em ambientes úmidos, em áreas onde se verifica elevada precipitação atmosférica. As rochas calcárias são atacadas principalmente por bactérias surfactantes e nitrificantes. Outro fator de influência, que acelera a degradação das rochas, é a presença de vários tipos de micro-organismos (processos biológicos – ácidos/biodeterioração), atrelados à temperatura (que acelera a reação química) e umidade, ambas elevadas. E, ainda, os tipos de rochas e seus minerais constituintes, classificadas de acordo com a composição mineralógica, outro importante fator no processo de degradação de materiais pétreos que juntamente com a porosidade e a textura são considerados como fatores endógenos. Nestas condições é facilitado o desenvolvimento de micro-organismos e/ou organismos pertencentes a vários grupos sistemáticos como plantas, fungos, algas, bactérias e líquenes. O presente trabalho teve como objetivo determinar a ocorrência dos principais fungos existentes no revestimento pétreo (Mármore Travertino/Bege Bahia) externo das paredes do Centro de Convenções da Universidade Federal de Pernambuco (Cecon). O Bege Bahia é uma rocha sedimentar composta por 95% de calcita (CaCO_3). Grande parte das paredes laterais do Cecon estava comprometida como constatado *in loco*. Os micro-organismos foram coletados de duas formas: raspagem com swabs e com fita adesiva (Técnica de Porto); em seguida as suspensões dos tubos com swabs foram inoculadas em meio de Ágar Sabouraud e incubadas à temperatura ambiente (28-30°C)

para o crescimento. O período de desenvolvimento variou de 7 a 15 dias. Após o crescimento foram purificados e isolados para identificação. Foram isolados vários tipos de fungos que causam biodegradação em uma grande variedade de produtos orgânicos e inorgânicos. Os gêneros mais prevalentes foram: *Trichoderma* sp. (07), *Fusarium* sp. (07), *Cladosporium* sp. (03), *Aspergillus* sp. (02), *Penicillium* sp. (02), *Colletotrichum* sp. (01) *Verticillium* sp. (01), *Curvularia* sp. (04), *Candida* sp. (01), totalizando 28 amostras isoladas. Os fungos por meio de suas funções metabólicas atuam sobre o Bege Bahia, através de reações químicas, como a carbonatação, e o decompõem. O CaCO_3 , a umidade e temperatura, fornecem o substrato necessário para o desenvolvimento desses fungos. Além de causar danos às estruturas pétreas e em outros materiais, esses fungos também podem causar vários tipos de micoses, alergias, rinites alérgicas ou intoxicação em seres humanos e animais. É imprescindível a utilização de materiais resistentes tanto aos efeitos climáticos naturais quanto aos químicos e biológicos. Urge novas pesquisas em relação a produção e caracterização de materiais pétreos mais resistente utilizados na construção civil de modo geral, bem como nas ações de conservação e restauração permanente dessas edificações.

Palavras-chave Biodegradação microbiológica, Biodegradação fúngica, síndrome dos edifícios doentes.

ABSTRACT

Pathologies associated with rock use in historical monuments and in various buildings are presented in many ways, but occur due to the degrading agents of stone materials. According to several authors, biological agents are also relevant in the decay processes of stone materials, especially in humid environments, and areas where there is high rainfall. Limestones are mainly attacked by nitrifying and surfactants bacteria. Another influence factor, which accelerates the degradation of the rocks, is the presence of several types of micro-organisms (biological processes - acids/biodeterioration), linked to temperature (which speeds up the chemical reaction), and humidity, both high. Rock types and their constituent minerals, classified according to their mineralogical composition, another important factor in stone material degradation process which, together with the porosity and texture, are considered as endogenous factors. In these conditions, it is facilitated growth of micro-organisms and/or organisms belonging to several groups systematic as

plants, fungi, algae, bacteria, and lichens. This study aimed to determine the occurrence of the main fungi existing in stony coating (Travertine Marble/Bahia Beige) outside the walls of the Convention Center (Cecon) of the Federal University of Pernambuco. Bahia Beige is a sedimentary rock composed by 95% of calcite (CaCO_3). Much of the Cecon's side walls were compromised as found on site. The microorganisms were collected in two ways: scraping with swabs and tape (Porto's technique); the suspensions of the tubes with swabs were inoculated in Agar Sabouraud environment, and incubated at room temperature (28-30°C) for growth. The development period ranged from 7 to 15 days. After growth, the suspensions were purified and isolated for identification. Several types of fungi, which cause degradation of a wide variety of organic and inorganic products, were isolated. The most prevalent types were: *Trichoderma* sp. (07), *Fusarium* sp. (07), *Cladosporium* sp. (03), *Aspergillus* sp. (02), *Penicillium* sp. (02) *Colletotrichum* sp. (01), *Verticillium* sp. (01), *Curvularia* sp. (04) *Candida* sp. (01), totaling 28 isolated samples. Fungi, through their metabolic functions, act on the Bahia Beige, through chemical reactions, such as carbonation, and decomposes it. CaCO_3 , humidity and temperature, provide the necessary substrate for the development of these fungi. Besides causing damage to the stone structures and other materials, these fungi can lead to different types of fungal infections, allergies, allergic rhinitis or poisoning to humans and animals. The use of materials resistant to climatic effects as well as to chemical and biological agents is essential. It is needed new researches on the production and characterization of more resistant stone materials used in construction in general and the permanent conservation and restoration actions of these buildings.

Keywords: Microbial biodegradation, Fungal biodegradation, Sick building syndrome.

1. INTRODUÇÃO

As patologias associadas ao uso da rocha, nos monumentos históricos e nas várias edificações apresentam-se, sob vários aspectos, mas ocorrem em função dos agentes degradadores dos materiais pétreos. Segundo Dionísio et al. 1993, os agentes biológicos são também relevantes nos processos de decaimento dos materiais pétreos, especialmente em ambientes úmidos, em áreas onde se verifica elevada precipitação atmosférica. As rochas calcárias são atacadas principalmente por bactérias surfactantes e nitrificantes. Outro fator de influência, que acelera a degradação das

rochas é a presença de microorganismos (processos biológicos – ácidos/biodeterioração), atrelados à temperatura (acelera a reação química) e umidade, ambas elevadas. E, ainda, os tipos de rochas e seus minerais constituintes, classificadas de acordo com a composição mineralógica, outro importante fator no processo de degradação de materiais pétreos (fatores endógenos). (RIECK, 2007). Nestas condições é facilitado o desenvolvimento de microorganismos e/ou organismos pertencentes a vários grupos sistemáticos como plantas, fungos algas, bactérias e líquenes. No Recife, capital de Pernambuco, de clima quente e úmido, o processo de degradação das rochas sedimentares – arenitos e calcários - aplicadas nos monumentos é mais intenso, a partir dos fatores que influenciam no intemperismo (fator exógeno). Em função do clima local, os processos de alterações das rochas ocorrem, predominantemente, por um dos agentes do intemperismo: o químico. Estresses internos e externos incidem nas rochas empregadas no patrimônio construído. O desenvolvimento de micro-organismos pressupõe a existência de produtos de metabolismo que atuam sobre as rochas atacando seus minerais e decompondo-os e também que, para o desenvolvimento desses fungos há a necessidade de substrato que sirvam para o seu desenvolvimento. A quantidade de chuvas aumenta em determinada época do ano, aumentando assim a umidade relativa do ar em algumas áreas da cidade. Esse fator é primordial para o desenvolvimento de micro-organismos, principalmente os fungos. No caso de monumentos históricos e edificações recentes, considerando os fatores responsáveis pela degradação das rochas – endógenos e exógenos – as patologias encontradas são: crostas negras, eflorescências salinas, e acumulações biológicas (microorganismos), todas provocadas por agentes químicos; esfoliações, fissuras, pitting, presença de vegetação, alveolização e perdas/lacunas, causadas pelos agentes físicos. Outro fator de influência, que acelera a degradação das rochas é a presença de microorganismos (processos biológicos – ácidos/biodeterioração), atrelados à elevação de temperatura (que acelera a reação química) e umidade elevada.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho tem como objetivo determinar a ocorrência dos principais fungos existentes no revestimento pétreo externo das paredes do Centro de Convenções (Cecon) da Universidade Federal de Pernambuco

2.1. O Bege Bahia

O material usado para o revestimento interno e externo das paredes desta construção é Bege Bahia também conhecido como travertino por se assemelhar a materiais carbonáticos de origem italiana. Este litotipo é na realidade, uma rocha sedimentar do tipo calcário algálico (ou travertino), micrítico a micro-esparítico, com nucleações constituídas de glomérulos oriundos da fragmentação e retrabalhamento hidrodinâmico de lâminas algálicas com focos irregulares de recristalização, disseminação difusa ou pontual de óxidos de ferro e, frequentemente, cavidades cársticas. O mármore é de coloração bege, granulação fina, aspecto brechóide, com vênulas e grãos diminutos de quartzo. Apresentam na sua composição mineralógica 97% de calcita, apenas 2% de quartzo e 1% de outros minerais acessórios. Placa pétrea deste material é mostrada na figura 1, abaixo.

Ao exibir a estética e evidenciar as propriedades físicas e mecânicas de um mármore típico, o Bege Bahia é bastante apreciado em aplicações como rocha ornamental, material de revestimento e piso de áreas internas, e outras aplicações, como esculturas e objetos de arte (Magalhães, A. C. F., 2008).



Figura 1 – Placa pétrea do Bege Bahia no estado são.

2.2. Coleta e análises dos microorganismos

Foram examinadas várias paredes nos diversos ambientes externos do Cecon/UFPE. Nos locais onde havia sinais de biodeteriorização (Figura 2), nas paredes laterais, foram coletados amostras de duas formas: raspagem com SWABS e com fita adesiva (figura 2). Após a coleta, as amostras foram examinadas e inoculadas em meio de Ágar Sabouraud com antibiótico para o isolamento primário, processo mostrado na figura 3. Em seguida, as colônias desenvolvidas foram isoladas,

purificadas e preparadas para a identificação final através do estudo da macro e micromorfologia como pode ser observado na figura 4. Após a identificação dos fungos, foram relacionados os principais gêneros envolvidos na deterioração desse material.



Figura 2 - Foto do Centro de Convenções, UFPE

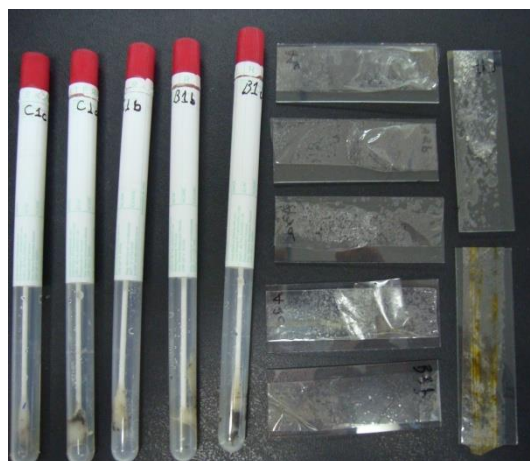


Figura 3 - Swabs e lâminas com fita adesiva



Figura 4 - Placas com os fungos isolados

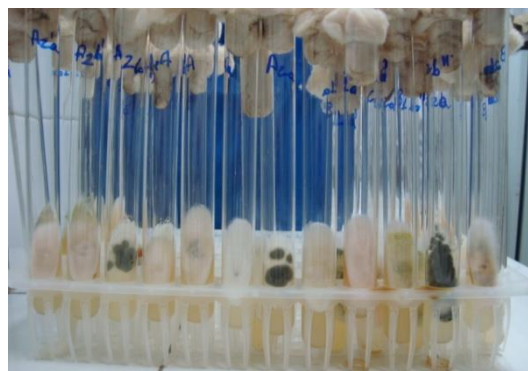


Figura 5 - Colônias de fungos purificados

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Centro de Convenções da Universidade Federal de Pernambuco é localizado na zona oeste da cidade do Recife, Pernambuco. Pela sua localização, esta cidade tem clima tropical úmido com chuvas de inverno antecipadas no outono. Relativamente bem distribuídas ao longo do ano, as chuvas são provocadas, sobretudo, pelos ciclones da Frente Polar Atlântica que atingem o litoral nordestino com maior vigor no período de outono e inverno, sendo os meses de maio, junho e julho os mais chuvosos e outubro, novembro e dezembro os mais secos. A temperatura média anual da área é de 24°C, variando entre a mínima de 18°C e a máxima de 32°C, sendo fortemente influenciada pela ação dos ventos dominantes, os alísios de SE (quentes e secos) e NE (quentes e úmidos) (SILVA, 2008). Os aspectos pluviométricos, as temperaturas médias, máxima e mínima, e

também os aspectos de insolação, evaporação, umidade relativa do ar e orientação de ventos regionais têm importante influência em aspectos relacionados com alterações das placas em revestimentos na região litorânea do Recife (SILVA, 2008).

3.1. Identificação dos fungos

Após pesquisas nas áreas afetadas pela biodegradação em vários pontos do Centro de Convenções, placas pétreas foram retiradas de vários pontos da fachada dessa edificação. Foi necessária a retirada de cinco placas pétreas em locais onde havia sido observado visualmente elevado a moderado grau de alteração causada pelo intemperismo, como pode se observar nas figuras 6 e 7. Destas placas foram isolados vários fungos num total de 28 colônias, sendo assim relacionados, *Trichoderma sp.*(07), *Fusarium sp.* (07), *Cladosporium sp.*(03), *Aspergillus sp.*(02) *Penicillium sp.*(02), *Colletrotrichum sp.* (01) *Verticillium sp.*(01), *Curvularia sp.*(04) *Candida sp.*(01). Alguns desses fungos isolados podem causar doenças em animais e seres humanos por exemplo, a aspergilose pulmonar, candidíase sistêmica, zigomicoses, Fusariose (Ceratite micótica) entre outras. A proliferação de fungos em ambientes externos é uma constante preocupação não só dos proprietários dos imóveis devido à deteriorização causadas pela intemperismo e ação antrópica bem com seus efeitos nas pessoas que circulam e trabalham perto desses ambientes.



Figura 6 - material alterado e com fungos



Figura 7 – ataque dos fungos nas paredes

3.2. Ação dos fungos

Segundo Dionísio et al. (1993), alguns dos efeitos dos microorganismos sobre as superfícies pétreas são: fraturação mecânica devida à pressão que as raízes de certas plantas superiores exercem ao crescerem nas fendas das rochas; decomposição de alguns dos minerais que compõem as rochas por algumas plantas superiores, dado existirem entre ambas reações de permuta iônica; aumento da superfície da rocha exposta ao ataque através da penetração das hifas dos líquens nas microdescontinuidades dos cristais, conduzindo a fenômenos de desagregação mecânica; criação de uma barreira retentora de umidade, acentuando a decomposição da rocha e a alteração da permeabilidade a gases e a líquidos. Acresce-se que estes microorganismos têm ainda a possibilidade de conduzir a formação de capas de alteração bem como a formação de um solo incipiente, onde se pode desenvolver flora contendo musgos e plantas superiores, resultantes da dissolução de minerais pelos líquens e da agregação da matéria orgânica. Os fungos e outros microorganismos e mesmo macroorganismos através de suas funções metabólicas atuam diretamente sobre as rochas através de reações químicas que decompõem o material pétreo. O Bege Bahia (“Mármore Travertino”), constituído basicamente de calcita (CaCO_3), a umidade e temperatura elevadas, fornecem o substrato necessário para o desenvolvimento desses fungos. Os fungos inoculam seus ácidos orgânicos resultantes dos processos metabólicos no Bege Bahia, através de reações químicas, como a carbonatação, e o decompõem, pois segundo, as rochas carbonáticas são susceptíveis a ancoragem e desenvolvimento de fungos filamentosos muito prevalentes nas patologias estudadas onde foi comprovada, com frequência a deterioração do carbonato de cálcio e os elementos de Ca, Mg, Na e K solubilizados na construção civil.

Geralmente, indivíduos saudáveis e imunocompetentes apresentam alta resistência inata à infecção fúngica, apesar de serem constantemente expostas às formas infecciosas de diversos fungos presente como parte da microbiota endógena (endógenos) ou no ambiente (exógenos). Os patógenos fúngicos oportunistas, como *Candida*, *Cryptococcus* spp. e *Aspergillus* spp., somente causam infecção quando ocorrem quebras nas barreiras protetoras da pele e membranas mucosas ou quando a falhas no sistema imune do hospedeiro. Entretanto, mesmo nas infecções oportunistas, há fatores associados ao organismo, e não ao hospedeiro, que contribuem para a capacidade do fungo causar doença. Algumas espécies são capazes de provocar infecções, tanto em plantas quanto em animais e em humanos. Em humanos, as infecções fúngicas não costumam evoluir para quadros mais sérios de complicação. Entretanto, quando se trata de alguém com a

imunidade comprometida, como portadores do vírus HIV, diabéticos, transplantados, etc., podem ser devastadores e, inclusive, provocar a morte em curto espaço de tempo.

4. CONCLUSÕES

As condições climáticas de Recife favorecem a ocorrência e alternância natural de ciclos úmidos e secos. Consideradas, ainda, as oscilações diárias da umidade relativa, com valores maiores e menores do que 75%, que favorecem a cristalização ou a dissolução dos minerais, têm-se reunidas as condições ideais para desencadear processos de alteração nos revestimentos. Tais circunstâncias e suas consequências são facilmente observadas nas rochas de revestimento encontradas no revestimento externo do Centro de Convenções da UFPE, materializando-se como destacamentos líticos, eflorescências, desagregações e manchamentos. O desenvolvimento de microrganismos nestas condições é inexorável. Eles atuam sobre o material pétreo seja pelo ataque químico decorrente da biocorrosão, seja pela ação física decorrente da bioabrasão.

A umidade, chuva temperaturas médias elevadas e também a poluição atmosférica propiciam o desenvolvimento de fungos sobre as rochas, notadamente aquelas carbonáticas porque elas fornecem substrato para o desenvolvimento de microorganismos. O mármore travertino é constituído basicamente de calcita (carbonato de cálcio). O cálcio é um dos macronutrientes secundários necessários ao desenvolvimento da flora. Portanto, o Bege Bahia passa a fornecer o substrato necessário para o desenvolvimento de formas de microorganismos que podem funcionar também como catalizadores de reações como a carbonatação.

Os materiais de constituição carbonática sofrem graves problemas de alterabilidade e devem ser aplicados, prioritariamente, em uso interno. O caso do Centro de Convenções da UFPE é típico do que ocorre quando materiais carbonáticos, notadamente o litotipo conhecido comercialmente como Mármore Travertino ou Bege Bahia é usado como revestimento externo. Este material deteriora-se rapidamente sob a ação de chuvas e são meio atraente para a instalação de fungos

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DIONISIO, A.; Aires-BARROS, L.; BASTO, M. J. A degradação das rochas do patrimônio cultural construído: o caso das rochas carbonatadas. Boletim da Soc. Portuguesa de Química, 1993. Lisboa. P 61-68;

RIECK, F. E.; SOUZA, J. C. Condições de Conservação e Patologias dos Bens Pétreos de Monumentos Históricos da Zona da Mata Pernambucana. Anais do III Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais, Natal, RN, 2007. CETEM, p. 108-1

SILVA, S. A.; OLIVEIRA, F. M. C.; SOUZA, J. C.; AVALIAÇÃO DA PERDA DE BRILHO EM PLACAS PÉTREAS DA REGIÃO LITORÂNEA DO RECIFE, BAIRRO BOA VIAGEM. In: III Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais e VI Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Anais, p.97, 2008.

MAGALHÃES, A. C. F. MÁRMORE BEGE BAHIA: DOS TEMPOS PRETÉRITOS AO PANORAMA ATUAL, 287-292. III Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais/VI Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2008.

AS ROCHAS DO MUSEU NACIONAL E MICRO AMBIENTE DE DEGRADAÇÃO

Fernanda Oliveira Senra 1¹, *Joedy Patricia Cruz Queiroz* 2², *Roberto Carlos da Conceição Ribeiro* 3³

¹ Aluna de graduação de Ciências Matemáticas e da Terra, UFRJ – CATE/CETEM/MCTI

² Geóloga, D. Sc. – CATE/CETEM/MCTI

³ Engenheiro Químico, D. Sc. – CATE/CETEM/MCTI

nosenra@gmail.com / fsenra@cetem.gov.br

RESUMO

O Museu Nacional da Quinta da Boa Vista, está localizado no bairro imperial de São Cristóvão, no coração do Rio de Janeiro. A ação natural das intempéries associada à atuação do homem conduz à destruição do que por ele tem sido criado através de séculos, a exemplo, os monumentos históricos. O caso do Museu Nacional não é diferente. A atuação destes agentes tem resultado em uma série de patologias danificadoras tanto da estética, quanto da integridade física da edificação. Baseado nestes fatores, tendo como finalidade a caracterização da deterioração das rochas que compõem a fachada principal do prédio, foram realizados os seguintes procedimentos: reconhecimento de campo, mapeamento das morfologias de alteração, recolhimento de amostras, submissão destas á análises química, petrográfica, ao MEV. Os resultados demonstraram que a maioria das patologias encontradas – e por consequência a deterioração – nas rochas estão relacionadas principalmente à localização do Museu, em meio a uma antiga área industrial e à umidade proveniente da própria vegetação do parque e de precipitações naturais.

PALAVRAS-CHAVE: Museu Nacional, intempéries, rochas.

ABSTRACT

The National Museum of Quinta da Boa Vista is located in the imperial district of São Cristóvão, in the heart of Rio de Janeiro. The natural action of the weather associated with human activity leads to the destruction of what for him has been created through centuries, like the historical monuments. The case of the National Museum is no different. The action of these agents has resulted in a number of pathologies both the aesthetic and the physical integrity of the building. Based on these factors, with the purpose to characterize the deterioration of the rocks that make up the main front of the building, the following procedures were performed: field reconnaissance, mapping of the change in morphology, collecting samples, submission of theses to chemical analyzes, petrographic, the SEM. The results showed that most pathologies found - and therefore the deterioration – in the rocks are related mainly to the location of the museum in the middle of a former industrial place and moisture from the own vegetation of the park and natural rainfall.

KEYWORDS: Natural Museum, weathering, rocks.

1. INTRODUÇÃO

O Museu Nacional está localizado no interior do parque da Quinta da Boa Vista, no bairro de São Cristóvão, RJ. Fora, no séc. XIX, a morada da Família Real Portuguesa e posteriormente, da Família Imperial de D. Pedro. (DANTAS, 2007)



O Parque se encontra em meio à área urbana, industrial, com enorme fluxo de veículos. Esses fatores, associados ao desgaste natural das rochas, influenciam no processo de intemperismo que afeta diretamente a superfície e estrutura dessas rochas.

O intemperismo consiste na quebra ou dissolução de rochas e minerais na superfície da Terra. Água, gelo, ácidos, sal, plantas, animais, mudanças climáticas e o próprio homem são todos agentes de intemperismo, que influenciam com mais ou menos intensidade na degradação das rochas. Visando estudar os efeitos destes agentes de degradação nas rochas, escolhemos como alvo para o estudo o Museu Nacional, situado na Quinta da Boa Vista, no bairro de São Cristóvão, Rio de Janeiro. A edificação é revestida, basicamente, por gnaisse facoidal e leptinito. Esses tipos de rocha são comuns na cidade, fazendo parte da geologia local.

2. OBJETIVOS

O presente estudo tem como objetivo verificar as possíveis causas de alteração das fachada de gnaisse facoidal do Museu Nacional da Quinta da Boa Vista, localizado no Rio de Janeiro - RJ, Brasil.

3. METODOLOGIA

3.1 Identificação das Patologias e Caracterização das rochas

A análise desenvolvida teve como base a identificação *in situ* das diversas patologias presentes nas rochas da fachada, de janelas e portais da edificação. Com base no *croquis* de campo, foi elaborado um mapa com a distribuição das rochas na fachada principal e suas referentes morfologias de alteração.

3.2. Análise Química

Foram feitas análises químicas das amostras coletada através do método de água de lavagem. Sua coleta é feita pela lavagem de uma área com o uso de escovas com cerdas macias que são posteriormente lavadas e essa água é coletada em potes esterilizados. É utilizado no estudo da influência de elementos químicos na alteração dos minerais das rochas da fachada do Museu.

3.3. Difração de Raios-X

Os difratogramas de raios-X das amostras, obtidos pelo método do pó, foram coletados em um equipamento Bruker-D4 Endeavor, nas seguintes condições de operação: radiação Co K α (40 kV/40 mA); velocidade do goniômetro de 0,02° 2 θ por passo com tempo de contagem de 0,5 segundos por passo e coletados de 4 a 80° 2 θ com detector linear sensível à posição LynxEye. As interpretações qualitativas de espectro foram efetuadas por comparação com padrões contidos no banco de dados PDF02 (ICDD, 2006) em software Bruker Diffrac^{Plus}.

3.4. Microscopia Eletrônica de Varredura e Sistema de Energia Dispersiva

O material coletado foi submetido a análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e de Sistema de Energia Dispersiva (EDS) acoplado.

A imagem eletrônica de varredura é formada pela incidência de um feixe de elétrons no mineral, sob condições de vácuo. A incidência do feixe de elétrons no mineral promove a emissão de elétrons secundários, retroespalhados, auger e absorvidos, assim como de raios X característicos e de catodo luminescência (Reed, 1996).

Os minerais não condutores de corrente elétrica para serem analisados no MEV/EDS devem ser previamente metalizados. A metalização consiste na precipitação, a vácuo, de uma película micrométrica de material condutor sobre a superfície do mineral, possibilitando a condução da corrente elétrica (Duarte et al, 2003).

Ao MEV pode ser acoplado o sistema de EDS (*Energy Dispersive System*), o qual possibilita a determinação da composição qualitativa e semi-quantitativa das amostras, a partir da emissão de Raios-X característicos (Duarte et al, 2003).

3.5. Mapeamento litológico e das morfologias de alteração

O mapeamento das litologias e das formas de degradação que compõem a edificação do Museu Nacional da UFRJ, representou um elemento preponderante para a investigação dos problemas

10 a 13 de abril de 2016, João Pessoa - PB

encontrados nas rochas desta edificação mostrando-se essencial para identificação e distribuição dos elementos pétreos que o sustenta e das formas de degradação que apresenta a fim de poder quantificar os defeitos e, assim, atribuir uma possível origem para os defeitos encontrados. Este mapeamento foi feito através do uso do software ArcGIS versão 10 que é frequentemente utilizado em estudos de georreferenciamentos, análise e construção de mapas, projeções cartográficas, entre outras funções. O ArcGIS é um sistema de informação geográfica (GIS, em inglês) que fornece uma infraestrutura de componentes e ferramentas que auxiliam o usuário na gestão dos dados. Utilizou-se, dentro do software do ArcGIS, o programa ArcMAP 10 que é um componente de construção e análise de mapas. Para confecção do mapeamento com este programa, foram utilizadas duas imagens da fachada da edificação: um desenho para definição de seus contornos e uma imagem mais detalhada, para localização das alterações, tendo como base o croqui do mapeamento das morfologias de alteração evidenciadas em campo. Cada alteração foi delimitada como um polígono, detalhando sua forma e classificando o tipo de alteração correspondente. Em seguida, foi feito o mesmo para as rochas. Utilizando polígonos para marcar a distribuição das mesmas e classificá-las. Com todos os contornos, marcações e classificações feitas, uniu-se todos os shapes para construção do mapa final que incluiu as alterações e litologias em evidência, bem como legenda e escala. Após esta etapa, foram feitos gráficos com a porcentagem de cada elemento presente, tanto rochas, quanto formas de degradação, cuja finalidade baseia-se na necessidade de compreender os problemas mais comuns em cada rocha.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Identificação das Patologias

As rochas analisadas estão situadas na fachada principal do Museu que, localizadas dentro do parque da Quinta e próximo a uma antiga área industrial, estão sujeitas aos efeitos climáticos regionais, acentuado pelos efeitos locais resultante da alta umidade, dos poluentes atmosféricos, chuvas ácidas entre outros. Todos estes processos intempéricos acabam por fim degradando as rochas que a constituem, principalmente como modificação de coloração (manchamento e descoloração), perda de massa rochosa, esfoliações e fissuras. Na figura 4.1.1 observa-se a alteração na coloração da rocha pela ação da água e umidade.



Figura 4.1.1: Alteração cromática das rochas na fachada do Museu

As modificações na coloração podem estar relacionadas à água das chuvas em contato direto com as rochas, à umidade local do parque, a alteração de minerais com presença de ferro ou até da deposição de sujeiras provenientes da urbanização.

A presença de perda de material rochoso e fraturas pode estar associada a diversos fatores, como as inúmeras reformas às quais foi submetido o prédio e ao elevado índice de dilatação térmica devido à exposição a amplas variações térmicas, ou mesmo a baixa resistência ao impacto devido ao tráfego de veículos no local. (Figura 4.1.2)



Figura 4.1.2: Fraturas e fissuras encontradas nas rochas

Observou-se, ainda, a presença de colonização biológica na fachada e nas pilastras do estacionamento. (Figura 4.1.3).



Figura 4.1.3: Colonização biológica na fachada e pilastras.¹¹

4.2. Análise Química

Os resultados da análise química demonstraram uma elevada concentração de sódio em toda a extensão da fachada porém, seu nível mais elevado se encontra na amostra 1, da lateral esquerda.

Esse sódio, associado ao cloro, pode indicar a presença de névoa salina da própria Baía de Guanabara, localizada a menos de 5 km do museu. Há também o destaque na presença de cálcio nas duas extremidades. O cálcio, muito solúvel em água, pode estar associado à alteração dos minerais ricos nesse elemento, presentes nas rochas, como os feldspatos no Gnaisse e plagioclásios no Leptinito. Essa alteração dos minerais pode se relacionar com o fluxo de veículos e a área urbana no entorno do parque onde se localiza o Museu.



Figura 4.2.1: Desenho da fachada principal do Museu

Tabela 4.2.1: Resultados químicos da água

	Concentração (mg/L)						
	mostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Amostra 6	Amostra 7
Ca	21	3,5	2,5	5,5	28,5	3,3	6,5
Mg	2,9	0,66	0,58	1,1	2,3	0,63	1,2
Na	26,2	11,3	12,7	16,3	17,2	12	13
K	3,5	2	1,8	2,9	3,2	2	2,3

4.3. Difração de Raios-X

Analisando os difratogramas de Raios-X, observa-se que na primeira amostra, do terceiro andar, os maiores picos de intensidade são oriundos da microclina, um tipo de feldspato alcalino e do quartzo, minerais típicos do leptinito. (Figura 4.3.1). Na segunda amostra, retirada de alteração no primeiro andar do prédio, fica claro a quase extinção da microclina e aumento da presença do quartzo e da sanidina, um tipo de feldspato potássico, constituintes do gnaiss facoidal, predominante nos andares inferiores da fachada. (Figura 4.3.2)

10 a 13 de abril de 2016, João Pessoa - PB

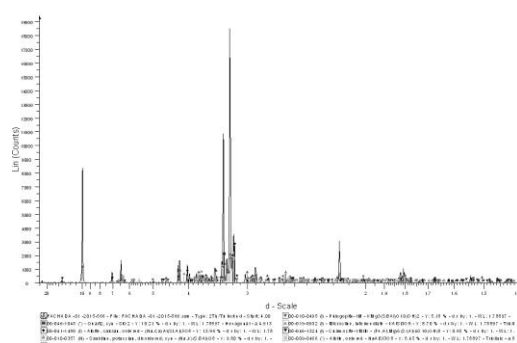


Figura 4.3.1: Presença de picos de intensidade essencialmente de microclina.

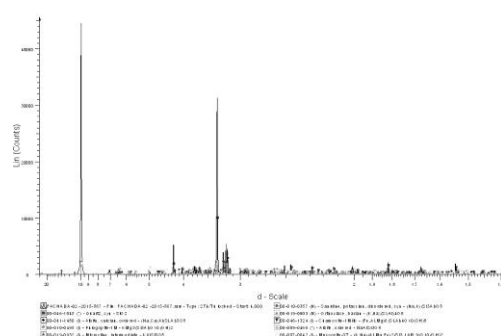


Figura 4.3.2: Difractograma de Raios-X, indicando alta presença de feldspato potássico

Difração de Raios-X corrobora o que foi visto no mapeamento litológico, porém, apesar das amostras terem sido recolhidas em áreas de alteração das rochas, não indicam grandes desvios na constituição dos minerais nelas presentes.

4.4. Mapeamento litológico e das morfologias de alteração

Em relação às litologias, foi possível identificar em sua fachada principal que na distribuição atual o andar térreo é composto por cerca de 85% de gnaiss facoidal, cerca de 10% de biotita-gnaiss e 5% de mármore, compondo os degraus de acesso às portas laterais. O segundo andar apresenta cerca de 80% de leptinito e 20% de gnaiss facoidal estando presente, respectivamente, nos contornos das janelas e nos pisos das sacadas das varandas. O terceiro andar é composto por 90% de leptinito e cerca de 10% de gnaiss facoidal, também distribuídos em portas, janelas e pisos de sacadas.



Figura 4.4.1: Mapa completo da fachada principal

Nas morfologias, observou-se que as principais alterações são a alteração cromática, com um índice de 28%, Perda de massa com 26% e esfoliação 13%. Essas alterações podem ser causadas pela percolação da água da chuva, que causa manchamentos, variações de temperatura, resultando na contração e expansão dos minerais constituintes da rocha, e ainda a presença de colonização biológica que ocorre nas rochas, que sofre com a presença da amônia

5. CONCLUSÕES

Com o trabalho apresentado podemos concluir que a ação natural das intempéries está sendo acelerada pela área urbana ao redor. A elevada emissão de poluentes pelos veículos acaba alterando os minerais das rochas constituintes do Museu, deixando-as mais frágeis. O micro clima do Parque e os índices de pluviosidade também as atingem, com a variação de temperatura, que causa a dilatação e contração das rochas, resultando em fraturas, fissuras e até a perda de material em algumas áreas da fachada. Por fim, a presença de névoa salina, oriunda da Baía de Guanabara, também atua como agente degradante, uma vez que pode causar a cristalização de sal dentro dos poros das rochas (fenômeno conhecido como eflorescência), que gera a quebra e perda de material rochoso.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ICOMOS-ISCS: *Illustrated glossary on stone deterioration patterns = Glossaire illustré sur les formes d'altération de la pierre*. English-French version - Version Anglais-Français. Paris: ICOMOS-ISCS, 2008. 78 p. (Monuments and Sites; XV). ISBN: 978-2-918086-00-0.

DANTAS, R.M.M.C. *A Casa do Imperador: Do Paço de São Cristóvão ao Museu Nacional*. 2007. 276 f. Dissertação (Mestrado em Memória Social) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2007

LAGO, B.C; LAGO, P. C. *Coleção Princesa Isabel: Fotografia do Século XIX*. Rio de Janeiro: Editora Capivara, 2013. 431 p.

ESTUDO COMPARATIVO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA MODELAGEM GEOMÉTRICA E CUBAGEM DE MACIÇOS ROCHOSOS

Ítalo Marcolino do Carmo¹, Júlio César de Souza², Suelen Silva Rocha³

¹ Mestre em Engenharia – Universidade Federal de Pernambuco – Departamento de Engenharia de Minas

² Doutor em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – Universidade Federal de Pernambuco –
Departamento de Engenharia de Minas

³ Pós-graduanda em Engenharia Mineral (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco –
Departamento de Engenharia de Minas
eng.suelen.rocha@hotmail.com

RESUMO

O desenvolvimento mineiro ocorre em diversas etapas. Na fase inicial da atividade de mineração realiza-se uma análise prévia para quantificação e qualificação do minério passível de ser extraído de modo rentável, constituindo-se em uma gestão dos recursos e reservas minerais. Essa etapa é fundamental por caracterizar-se como fator de determinação para maximização da recuperação do minério, o que implica na vida útil e lucratividade do empreendimento mineiro através do reconhecimento geológico do depósito mineral que está sujeito de ser materializado por vários tipos de modelos. Neste contexto, é fundamental a elaboração de um modelo geomorfológico representativo do corpo mineralizado baseado em informações recolhidas por meio de técnicas de prospecção geológica e levantamentos de campo. Por ser realizado na fase inicial, a precisão dos resultados desses trabalhos geralmente não se constitui fator decisivo na seleção dos alvos de pesquisa de detalhe devido à carência de dados de campo e necessidade de custos reduzidos, sendo admitidas variações de até 30% nos valores determinados. O desenvolvimento contínuo das ferramentas computacionais permite que modelos geomorfológicos das ocorrências minerais possam ser elaborados de maneira rápida e precisa com baixo custo operacional. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia para modelagem geométrica de maciços rochosos a partir do uso de softwares de baixo custo e ilustrar na prática a aplicação da mesma para determinação do volume de maciços rochosos.

PALAVRAS-CHAVE: modelagem de maciços rochosos, ferramentas computacionais, avaliação de reservas

ABSTRACT

The mining development occurs in several stages. In the initial phase of mining activity carried out a preliminary analysis to quantify and qualify the ore that can be mined profitably, being in the management of mineral resources and reserves. This step is critical because it is characterized as determining factor to maximize ore recovery, which involves the life and profitability of the mining project through the geological reconnaissance of mineral deposit that is subject to be materialized by various types of models. In this context, it is essential to create a representative geomorphological model of the mineralized body based on information collected through techniques of geological prospecting and field surveys. To be performed in the initial phase, the accuracy of the results of such work generally does not constitute a decisive factor in the selection of targets for detail research due to the lack of field data and the need for reduced costs, variations being permitted up to 30% on certain values. The continuous development of computational tools allows geomorphological models of mineral deposits can be developed quickly and accurately with low operating cost way. In this sense, the objective of this study was to develop a methodology for geometric modeling of rock masses from the use of low cost software and illustrate the practical application of it to determine the volume of rock masses.

KEYWORDS: modeling of rock masses, computational tools, evaluation of reserves

1. INTRODUÇÃO

Na mineração, a gestão de recursos e reservas minerais é fundamental para a quantificação e qualificação das reservas. Esta gestão se baseia principalmente no reconhecimento geológico do depósito mineral que está sujeito de ser materializado por vários tipos de modelos. Assim, o problema inicial detém-se no desenvolvimento de um modelo apropriado ao corpo mineralizado, o qual é baseado em informações recolhidas por meio de técnicas de prospecção geológica e levantamentos de campo. Todavia, além da precisão na quantificação dos recursos e reservas, o interesse pela maximização da recuperação do minério é fundamental, visto que tal maximização afetará a vida útil, a lucratividade e sustentabilidade do empreendimento.

Durante muito tempo, as denominadas técnicas clássicas tais como o método dos polígonos, dos triângulos, das seções etc. foram as mais utilizadas como metodologias de cubagem de

jazidas. Estas permitem realizar o cálculo de reservas usando fatores médios ponderados (teores, espessuras e volumes), os quais são então aplicados a áreas ou volumes de influência. Entretanto, a praticidade e confiabilidade dos processos que os computadores trouxeram à mineração através dos softwares, associado à sua capacidade de representar as distribuições dos teores ocorrentes num depósito mineral de um modo mais preciso fizeram com que o seu uso se tornasse cada vez mais fundamental nos empreendimentos mineiros.

Neste sentido, o principal objetivo deste trabalho é desenvolver uma metodologia computacional para a modelagem geométrica de maciços rochosos utilizando ferramentas computacionais de baixo custo visando a determinação do volume de maciços rochosos, indicando alternativas de fácil acesso e baixo custo para avaliação preliminar de jazidas minerais de brita.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A avaliação de recursos minerais é uma tentativa sistemática para qualificar e quantificar reservas minerais de interesse econômico. Uma avaliação pode incluir uma sequência de atividades como uma avaliação mineral regional com amplos recursos e posteriormente uma análise mais detalhada. Mapas geológicos, juntamente com dados básicos geoquímicos, geofísicos e de perfuração e estudos de viabilidade detalhados de depósitos específicos podem ser usados para realizar uma avaliação de recursos detalhada.

Os custos com atividades de avaliação de recursos minerais variam amplamente, indo de milhares à milhões de reais, e pode durar alguns dias à vários anos para ser concluído. Os métodos para avaliação de reservas foram constantemente melhorados para produzirem resultados mais precisos e confiáveis. Segundo Guerra (1988), os métodos para avaliação de reservas podem ser classificados em três grandes grupos: métodos convencionais, métodos estatísticos e métodos geoestatísticos.

2.1 Métodos computacionais para modelagem geométrica

De acordo com Yamamoto (2001), os métodos computacionais fazem uso das funções matemáticas de interpolação, as quais são aplicadas para o cálculo das variáveis de interesse nos blocos de cubagem. Estes têm a forma geral de paralelepípedos e suas dimensões devem ser

compatíveis com a densidade média de amostragem nas três direções. Ao conjunto de blocos de cubagem que compõem o depósito denomina-se modelo tridimensional de blocos (figura 1).

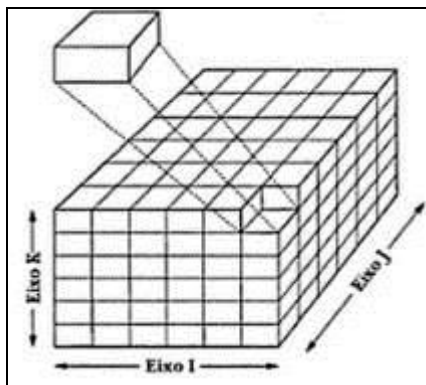


Figura 1 – Modelo tridimensional de blocos de um depósito hipotético
Fonte: Yamamoto (2001)

Os métodos computacionais são os mais utilizados na área mineral, especialmente quando se trata de depósitos minerais de alto valor econômico e comportamento muitas vezes errático. (REVUELA e JIMENO, 1997). A grande diferença dos métodos convencionais para os computacionais reside na forma de cálculo dos teores, em que os últimos fazem uso das funções matemáticas de interpolação, entre as quais: inverso da potência da distância e krigagem ordinária. As técnicas computacionais possuem uma base teórica destinada a conferir maior confiabilidade às interpolações, através da definição do melhor estimador linear não-enviesado, que atribui teores aos blocos não amostrados de uma jazida mineral. Através da krigagem, o estimador pode calcular valores que, em média, são iguais ao valor real da jazida, baseando-se na hipótese de que o teor é uma variável regionalizada. Este método permite estimar não só os valores mais prováveis dos blocos intermediários de minério, mas também, os erros cometidos em tais avaliações (variância da distribuição), podendo desse modo assinalar os locais onde mais dados devem ser colhidos para se obter maior confiabilidade (GAMA, 1986).

A metodologia da modelagem geológica e geotécnica está dividida em modelagem geométrica e modelagem numérica. Recomenda-se um processo ou conjunto de critérios que avaliem toda a informação em unidades geológico-geotécnicas homogêneas. A superfície envolvente de um corpo mineral pode ser modelada como uma malha triangulada de pontos similar àquela utilizada para modelar superfícies por modelos tipo DTM. O termo técnico em inglês para definir este tipo de modelo é *wireframe*. Uma vez criado este modelo, o volume definido pelo seu contorno pode ser calculado de modo preciso e eficiente (YAMAMOTO, 2001).

2.2 Caracterização da área de Estudo

A área estudada está localizada no distrito de Jussaral, no sudoeste da cidade de Cabo de Santo Agostinho, que é parte da Região metropolitana do Recife e dista 41 Km da capital. Nesta área encontra-se o afloramento do granito em estudo, que aflora sob a forma de grande maciço rochoso, com comprimento superior em certos pontos a 400 m. Salienta-se a homogeneidade do litotipo aflorante, sendo destituído de foliações, fraturamento e deformações cisalhantes. No geral trata-se de uma rocha porfiróide, de composição granodiorítica, isotrópica, feldspática, holocristalina, de matriz formada por grãos xenomórficos de feldspato, com presença de quartzo e biotita nos espaços intersticiais. Subordinadamente ocorrem minerais opacos indicando baixo potencial de ocorrência de reação álcali-agregado na aplicação em concretos.

3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Na elaboração do estudo de caso foram utilizados softwares comerciais para a determinação dos volumes dos sólidos correspondentes ao corpo mineral e quantificação de reservas minerais. Foram eles: SKETCHUP PRO 8.0, SURFER 9.0, AUTOCAD 2010, AUTOCAD CIVIL 3D 2014 e o DATAMINE STUDIO 3.0.

- SketchUp PRO 8.0 – Este software é direcionado para o trabalho de arquitetura com maior aplicabilidade para projetos de engenharia civil, mas também pode ser muito útil para a área de mineração, uma vez que, com este programa, pode-se desenhar linhas de contorno rapidamente a partir de dados do Google Earth com uma boa precisão. Portanto, este software tem uma grande aplicabilidade para o desenvolvimento de projetos-modelo de rocha.
- SURFER 9.0 – A aplicação deste programa foi principalmente para modelar os contornos a partir de dados GPS. Diferentemente do SketchUp, que trabalha diretamente com as imagens do Google Earth, o SURFER necessita das coordenadas tridimensionais do campo georreferenciadas, que por vezes pode se tornar muito caro para o projeto.
- AutoCAD Civil 3D – O AutoCAD foi utilizado para realizar basicamente três funções: suavizar as linhas de contorno do SketchUp, georreferenciá-las, e digitalizar as curvas de níveis dos mapas obtidos com as Ortofotocartas da FIDEM (Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife). O mapa resultante foi utilizado para comparação dos resultados obtidos com os outros softwares, pois possui uma precisão considerada razoável na avaliação do maciço.

- **DATAMINE STUDIO 3.0:** Este software gera o modelo de blocos do maciço rochoso para todos os métodos utilizados e os resultados comparados, em termos de volume de massa de rocha.

A coleta das amostras para o levantamento planialtimétrico foi realizada por meio de GPS modelo Garmin 76s e a malha de amostragem constituiu-se uma distribuição regular. O levantamento realizado teve como objetivo comprovar as cotas registradas no mapa-base, fornecer as coordenadas UTM e altitudes do maciço rochoso. Após a construção dos modelos, fez-se as comparações dos volumes calculados com as outras metodologias com o mapa-base definindo-se as variações em relação aos volumes determinados a partir dos diferentes Modelos Digitais de Terreno (Digital Terrain Model -DTM's), considerando-se melhor o resultado que mais se aproxima do volume calculado por esse mapa-base.

4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Através da combinação dos softwares mencionados acima, foi possível gerar os modelos geológicos e realizar os cálculos de volume do maciço rochoso. Os resultados foram gerados dentro de uma área limitada, que se definiu como área base, com o intuito de se comparar as diferentes metodologias para o cálculo do volume gerado a partir da respectiva modelagem de blocos.

1º Modelo – Sketchup PRO 8.0

Os contornos gerados pelo uso do software SketchUp PRO 8.0 têm relativamente boa confiabilidade. As curvas foram espaçadas de 5 em 5 metros de altura (figura 2).

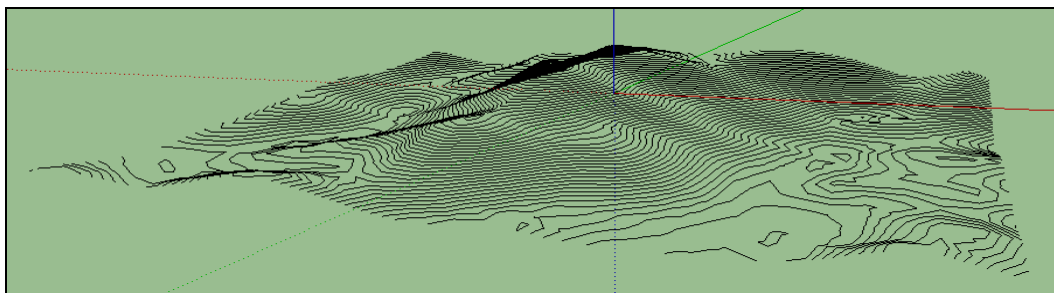


Figura 2 – Superfície topográfica gerada a partir do SketchUp Pro 8

A partir deste modelo topográfico 3D pôde-se importar os contornos para o AutoCAD Civil 3D, com o objetivo de unir e suavizar os segmentos de linha nas linhas de contorno geradas no

SketchUp. Uma vez feito, pôde-se exportar este modelo topográfico para o Datamine onde foi desenvolvido o Modelo Digital do Terreno (DTM) correspondente à topografia da área de estudo (Figura 3).

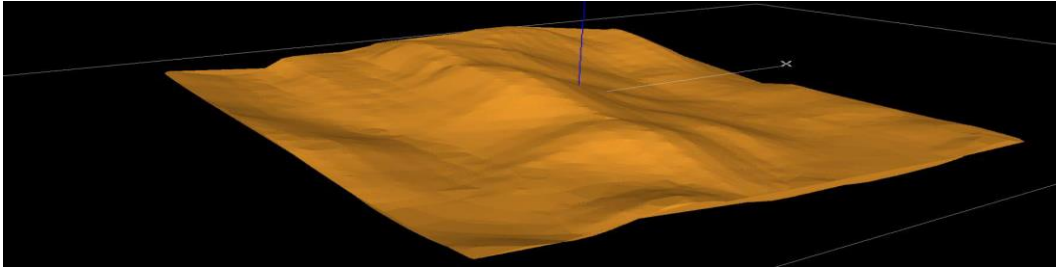


Figura 3 – DTM correspondente a topografia do terreno da área gerada a partir do DATAMINE

A partir do correspondente DTM da topografia da área de interesse foi gerado um modelo de blocos e em seguida, calculado o volume do maciço rochoso (Figura 4).

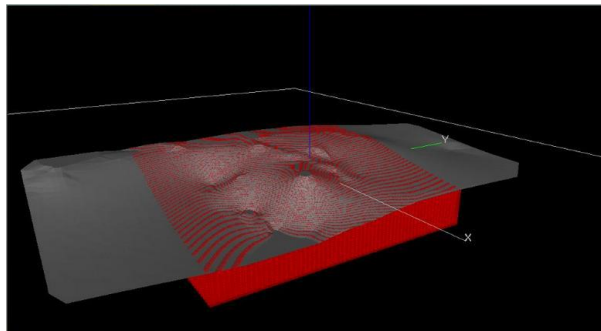


Figura 4 – Modelo de blocos do maciço rochoso

Com isso, foi possível calcular o volume do sólido e, em seguida, criar o pit final para o desenvolvimento da mineração. O volume calculado utilizando o modelo de SketchUp com o Datamine foi de 11.198.946,6 metros cúbicos.

2º Modelo – Dados colhidos em campo com o GPS

Com os dados coletados em campo com equipamento GPS foi possível preparar o contorno usando o SURFER 9.0 (figura 5). Por este método não foi necessário juntar e suavizar as curvas de nível, uma vez que este já é feito pelo SURFER. Em seguida, trabalhou-se no AUTOCAD a colocação do relevo, e depois exportados para Datamine para a geração de DTM e o modelo de blocos.

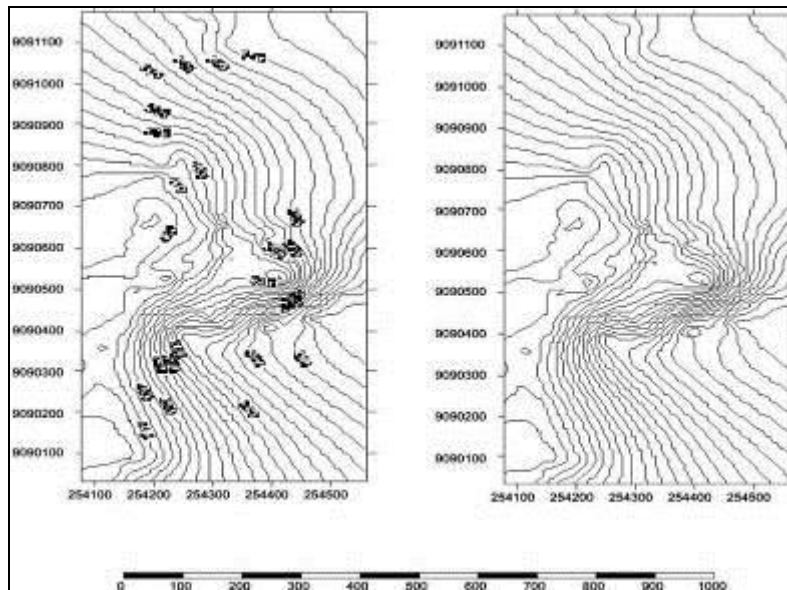


Figura 5 – Curvas de nível geradas a partir do Surfer 9.0

O volume total de massa de rocha obtido no DTAMINE que pode ser extraído do pit gerado com os dados do SURFER é de 13.812.177,1 metros cúbicos.

3º Modelo – Ortofotocartas

Os contornos correspondentes à topografia do maciço rochoso obtidos pela digitalização no software AUTOCAD 2010 dos mapas de contorno da Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife – FIDEM são mostrados na figura 6. Assim, foi possível gerar o modelo de blocos no Datamine STUDIO 3.0 (figura 7).

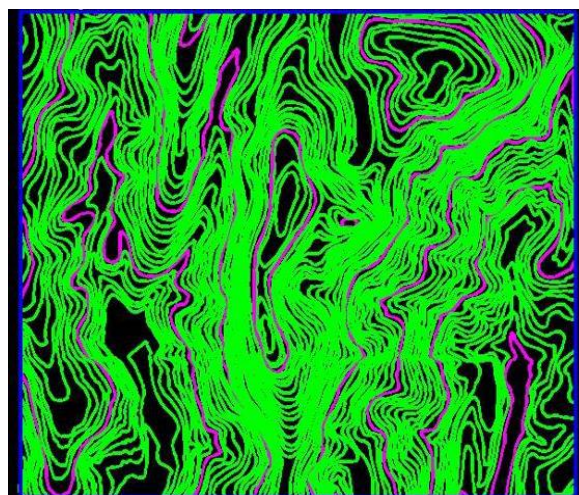


Figura 6 – Curvas de nível geradas a partir da digitalização das ortofotocartas

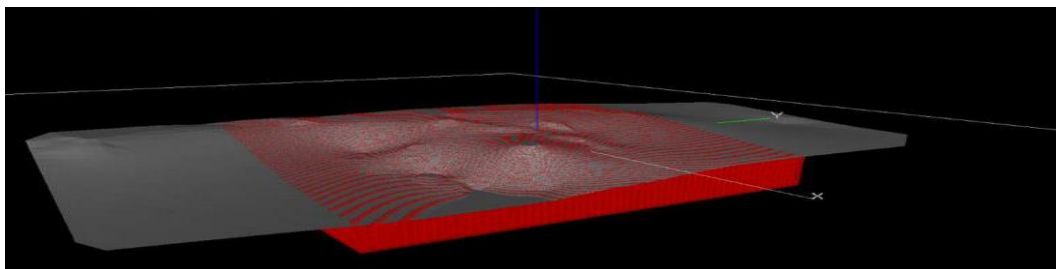


Figura 7 – Modelo de blocos dos dados obtidos com digitalização das ortofotocartas

Assim, através deste modelo gerado por estes mapas de contorno da FIDEM, o volume de massa de rocha é de 12.757.141,6.

Comparação de cálculo de reserva do maciço rochoso

A tabela a seguir mostra os resultados obtidos com as três metodologias de modelagem dos maciços rochosos e a diferença com o modelo das ortofotocartas, que é considerado o mais preciso entre os modelos estudados.

Tabela 1. Resultados dos volumes das três metodologias e a diferença entre as mesmas

Método	Volume (m ³)	Diferença (m ³)	Diferença (%)
SketchUp Pro 8	11.198.946,60	1.558.195,00	12,21
GPS	13.812.177,10	1.055.035,50	8,27
Ortofotocartas	12.757.141,60	-	-

Observa-se que as diferenças entre os 3 modelos aplicados na cava experimental podem ser consideradas irrelevantes levando em consideração as incertezas existentes em relação aos dados coletados, o que permite afirmar que as metodologias empregadas são satisfatórias para a avaliação preliminar de volumes de maciços rochosos dentro da precisão desejada para a fase de investigação preliminar de maciços rochosos.

5. CONCLUSÃO

A partir dos resultados das três metodologias desenvolvidas neste trabalho conclui-se que é possível realizar a modelagem geométrica dos maciços rochosos usando ferramentas computacionais de baixo custo para avaliações em fase de exploração mineral e elaboração de estudos de pré-viabilidade de depósitos minerais para a produção de agregados. Os dados obtidos a partir do Google Earth foram compatíveis com os resultados obtidos a partir de fontes confiáveis, uma vez que as diferenças entre os resultados da modelagem para calcular o volume

das várias metodologias foram abaixo de 30%, o que indica uma boa aproximação para a avaliação das reservas e permite a implementação de um projeto conceitual de exploração com confiabilidade aceitável para as fases iniciais de projeto.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARMO, I. M. **Estudo Comparativo de Ferramentas Computacionais para Modelagem geométrica e Cubagem de Maciços Rochosos**. Dissertação (Mestrado). Recife: Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral, 2013. 97 p.

GAMA, C. A. J. V. D. Evolução dos Métodos de Cálculo de Reservas Minerais. **Revista Brasil Mineral**, n. 28, p. 36-42, 1986.

GUERRA, P. A. G. **Geoestatística operacional**. Brasília: DNPM, 1988. 138 p.

REVUELTA, M. B. e JIMENO, C. L. **Manual de Evaluación y Diseño de Explotaciones Mineras**. Madrid: Entorno Gráfico, 1997. 705 p.

YAMAMOTO, J. K. **Avaliação e Classificação de Reservas Minerais**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001. 227 p.

ANÁLISE DE COR EM IMAGENS DIGITAIS E ANÁLISE DE BRILHO PARA ROCHAS ORNAMENTAIS SUBMETIDAS AO ATAQUE QUÍMICO.

*Thiago M. Bolonini¹, Antônio M. Godoy², Lara Cinthia A. S. Bolonini³, Leonardo Luiz L. da Silveira⁴,
Elton S. dos Santos⁵*

^{1,4,5} Centro de Tecnologia Mineral CETEM/MCTI, Núcleo Regional do Espírito Santo NR-ES, Rodovia Cachoeiro x Alegre, Km 5, s/nº, Bairro Morro Grande, CEP 29.300-970, Cachoeiro de Itapemirim – ES (Brasil). tbolonini@cetem.gov.br; www.cetem.gov.br

² Departamento de petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista UNESP, Av. 24-A, nº 1515, C. P. 178, CEP 13506-900, Rio Claro, São Paulo (Brasil). mgodoy@rc.gov.br

³ Universidade de Vila Velha UVV, Curso de Geologia, Av. Comissário José Dantas de Melo, nº 21, Bairro Boa Vista, CEP 29.102-920, Vila Velha – ES (Brasil). lara_saar@yahoo.com.br

RESUMO

O ensaio de determinação da resistência ao ataque químico simula efeitos de reagentes com os quais as rochas podem entrar em contato. O parâmetro avaliado no teste, normalmente, é o brilho. Em alguns casos, entretanto, variações de cor são muito mais evidentes e não são medidas. Para auxiliar na avaliação dos danos causados pelo ataque químico, este trabalho propõe a utilização da técnica de medição de cor em imagens digitais. As rochas ornamentais estudadas, conhecidas comercialmente como *Butterfly Beige*, *Butterfly Gold* e *Butterfly Green*, representam variedades de um quartzo-sienito com hiperstênio com grande similaridade composicional, textural e estrutural. A avaliação do brilho mostrou que todos os reagentes provocaram alterações nesta propriedade com valores compreendidos entre 7% e 20% de perda devido à remoção da camada de resina, à oxidação de minerais ferromagnesianos como a biotita e o hiperstênio e à remoção do $\text{Fe}(\text{OH})_2$ das fraturas. No tocante à medição de cor nas imagens, as variações positivas e negativas identificadas para os canais RGB mostram que as alterações minerais são facilmente detectáveis, quantificáveis e correlacionáveis com as feições visualizadas nas amostras. Constatou-se que o brilho e as variações de intensidade dos canais RGB são variáveis independentes pois o brilho pode variar sem que a cor necessariamente mude. Dentre as três variedades estudadas, a

que melhor responderia a uma aplicação em ambientes onde possíveis exposições aos produtos químicos testados podem ocorrer seria o *Butterfly Gold* devido ao seu estágio de alteração mais avançado e seus menores valores de perda de brilho e alteração de cor.

PALAVRAS-CHAVE: rochas ornamentais, imagens digitais, padrão RGB, brilho, ataque químico.

ABSTRACT

The chemical resistance determination test, simulates the effects caused by reagents with which can get in contact. The parameter evaluated in the test usually is the brightness. In some cases, however, variations in color are much more evident and are not measured. To help assess the damage caused by chemical attack, this paper proposes the use of color measurement technology in digital images. The studied dimension, commercially known as Butterfly Beige, Gold Butterfly and Butterfly Green, represent varieties of quartz-syenite with hypersthene with great compositional, textural and structural similarity. The brightness evaluation showed that all reagents changed this property with values comprised between 7% and 20% of loss due to the removal of the resin layer, to the oxidation of minerals such as biotite and hypersthene and to the removal of Fe (OH)₂ of fractures. Regarding the measurement of color in the images, the positives and negatives variations identified for the RGB channels showed that the mineral alterations are easily detectable, quantifiable and correlated with the features displayed in the samples. It was found that the brightness and intensity variations of the RGB channels are independent variables because the brightness may vary without necessarily color change. Among the three varieties studied, the one that best responds to an application in environments where the exposure to the tested chemicals can occur would be the Butterfly Gold due its more advanced stage of alteration and its lower brightness loss and color alteration.

PALAVRAS-CHAVE: Dimension stones, digital images, RGB standard, brightness, chemical attack.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o sumário mineral do Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM (2014) ano base 2013, o Brasil se posiciona em 4º lugar no *ranking* mundial de produção, com

7,5%, atingindo a produção brasileira 10,5 Mt em 2013 (+13% em relação a 2012). A região Sudeste foi responsável por 64,5% da produção nacional e a região Nordeste por 24,7%. De acordo com dados do Centro Brasileiro dos Exportadores de Rochas Ornamentais - CENTROROCHAS (2015) dos US\$ 1,27 bilhão comercializados, no ano de 2014, aproximadamente US\$ 1,0 bilhão foram produzidos por empresas do Estado do Espírito Santo, colocando este como responsável por 92% da produção de nacional de chapas polidas de rochas carbonáticas (mármore) e por 93% das rochas silicáticas (granitos).

Além dos aspectos econômicos em esfera global, tais informações mostram a necessidade de obter maior entendimento das respostas oferecidas pelas rochas às diferentes solicitações. Diante deste cenário, conhecer características tecnológicas como a resistência ao ataque de produtos químicos, por exemplo, é condição primordial para aumentar a competitividade brasileira no mercado internacional.

Este estudo busca, através da análise de imagens e de medições diretas de brilho, analisar alterações em rochas submetidas ao ensaio de ataque químico e aponta para a necessidade de conhecer estas alterações para orientar a aplicação das rochas ornamentais nos diversos ambientes.

Especialistas em rochas ornamentais utilizam imagens, em diversas escalas, como ferramentas para quantificar alterações causadas por fenômenos físicos e/ou químicos decorrentes de intempéries (VAZQUEZ, 2011; TORQUATO *et al.*, 2008), para auxiliar na visualização dos resultados de suas análises e para especificação desses materiais rochosos (AIRES-BARROS *et al.*, 1991a; MOTOKI *et al.*, 2006; GOKAY e GUNDOGDU, 2008; FIGUEIREDO *et al.*, 2004; CLEMENTE *et al.*, 2013). Entretanto, os estudos que utilizam as imagens para avaliar as alterações de cor nas superfícies das rochas ainda são pouco difundidos.

2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho é utilizar, junto às medições de brilho, medições de cor em imagens digitais como método auxiliar a avaliação das intensidades das alterações ocorridas nas superfícies das rochas submetidas ao ensaio de determinação da resistência de rochas ornamentais ao ataque químico.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

As variedades de rochas ornamentais estudadas são conhecidas comercialmente como *Butterfly Beige* (Figura 1A), *Butterfly Gold* (Figura 1B) e *Butterfly Green* (Figura 1C) e correspondem a variedades de um quartzo-sienito com hiperstênio compostas basicamente por: Microclínio, quartzo, plagioclásio (oligoclásio), biotita, granada e hiperstênio.

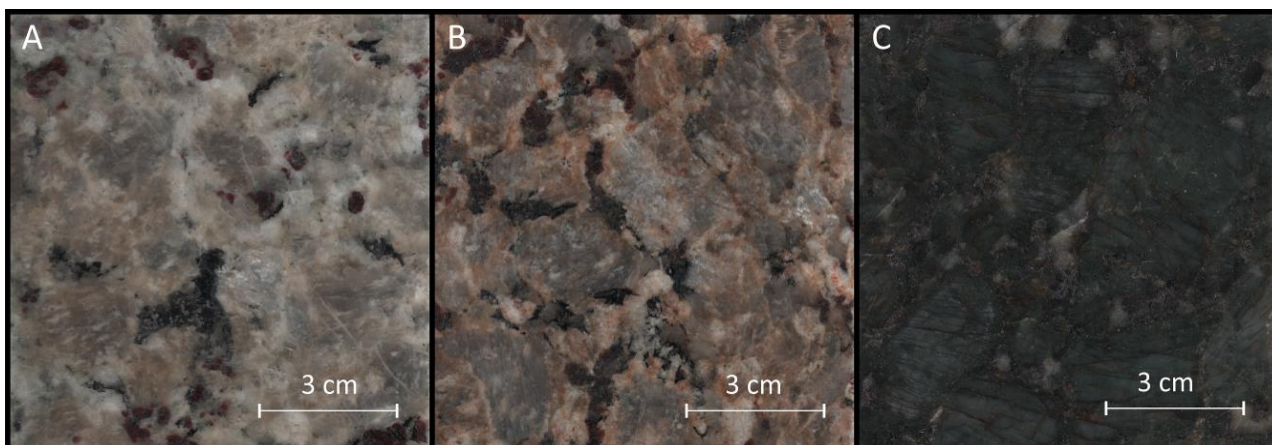


Figura 1. Rochas ornamentais submetidas à coloração seletiva por ataque químico.

Inicialmente foi realizada a análise petrográfica microscópica onde, devido às dimensões dos cristais de microclínio, foram utilizadas duas lâminas de cada variedade para identificação mineralógica. Para quantificação mineralógica foi utilizado o método da coloração seletiva, em placas medindo 10 cm x 15 cm x 2cm, aliada à classificação supervisionada de imagens segundo o método proposto por Bolonini *et al.* (2016). Na sequência, 8 placas polidas de cada variedade, com arestas medindo 10 cm x 10 cm x 2 cm, foram cortadas para a realização do ataque químico conforme adaptações feitas no anexo H da norma NBR:13818 (ABNT, 1997). Tais adaptações consistiram na modificação da quantidade de corpos de prova utilizada (de 5 por reagente para 1) devido ao grau de homogeneidade das amostras e na substituição da massa para vedação do aparato (silicone por massa para modelar). Os tubos de PVC (Policloreto de Vinila) foram cobertos com placas de petri para evitar evaporação em excesso.

As superfícies destinadas ao ensaio foram digitalizadas antes e após o mesmo, com um *scanner* de mesa, gerando imagens *TIFF* (*Tagged Image File Format*) de dimensões de 10 cm x 10 cm. Na sequência, todas as imagens geradas foram recortadas, no *software* CorelDraw, para que fossem analisadas somente as áreas afetadas pelo ataque químico (8 cm de diâmetro). As imagens resultantes apresentam 7.571 pixels. As imagens foram importadas para o *software* ImageJ (NIH,

2014a) onde foi utilizado o *plugin RGB Measure* (NIH, 2014b) para medir as intensidades dos canais RGB nas imagens antes e depois do ensaio. O *plugin* fornece, após analisar os pixels nas imagens, os valores médios para cada um dos três canais sendo as suas variações calculadas (em porcentagem) com base na equação 1, onde: Δi = Variação da intensidade; i_0 = Intensidade inicial; i_f = Intensidade final.

$$\Delta i = \left(\frac{i_0 - i_f}{i_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

Antes e após o ensaio, também foram efetuadas três medições de brilho, para cada corpo de prova, com o uso de um *Gloss Meter micro-Tri-Gloss* (geometria de 85°). Os resultados obtidos com as medições de brilho e cor foram então tabulados com o uso do *software* Excel para análise e interpretação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Petrograficamente as rochas estudadas apresentam grande similaridade composicional, textural e estrutural. São rochas com textura inequigranular, hipidiomórficas, de granulação grossa a porfirítica, estrutura isotrópica, compostas por microclínio (58-62%), plagioclásio (20-22%), quartzo (11-15%), granada (2-6%), biotita (2%), hiperstênio (1%) e traços de zircão e apatita (Tabela 1). De acordo com a CPRM (2007), as trilhas de inclusões fluidas de CO₂ que rochas apresentam são a causa da coloração da variedade verde. Entretanto, como as inclusões são encontradas em todas as três variedades, acredita-se não ser esse o único fator que determina a cor na variedade verde.

Tabela 1. Resumo das características petrográficas das rochas submetidas ao ensaio de ataque químico.

Características Petrográficas		Butterfly Beige	Butterfly Gold	Butterfly Green
Granulação (cm)	Variação (predominância)	0,2 a 4,5 (1 a 4)		0,2 a 4 (1 a 4)
Alteração Mineral		Incipiente	Moderada	Incipiente
Microfissuras (predomínio)	Tipo	Intragranular e intergranular		
	Aberta/fechada	aberta		
	Preenchimento	Fe(OH) ₂ /Plagioclásio/Sericita		Fe(OH) ₂ /Sericita
	Grau de fraturamento	Baixo	Médio	Alto
Classificação petrográfica (STRECKEISEN, 1976)		Quartzo-sienito com hiperstênio		

As rochas se apresentam, em geral, fraturadas e o tipo de preenchimento e os graus de intensidade com os quais as fraturas ocorrem é fator determinante para a interpretação dos

efeitos causados ou da preservação das suas características estéticas. O *Butterfly Green* apresenta alto grau de fraturamento com fraturas preenchidas por hidróxido ferroso $\text{Fe}(\text{OH})_2$ de coloração verde que, junto aos cristais de hiperstênio e às inclusões de CO_2 , dão a coloração geral verde a esta rocha.

O *Butterfly Beige* apresenta fraturas preenchidas por plagioclásio e, de forma mais dispersa por hidróxido ferroso $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Já o *Butterfly Gold*, produto da alteração da variedade *Butterfly Beige*, além da oxidação das biotitas, apresenta a alteração do hidróxido ferroso $\text{Fe}(\text{OH})_2$ para hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$ devido à mudança de carga do Fe^{2+} para Fe^{3+} provocada pela ação intempérica. O $\text{Fe}(\text{OH})_2$ é, provavelmente, proveniente da alteração de minerais ferromagnesianos como o hiperstênio e a biotita.

Em relação ao brilho, todos os reagentes provocaram alterações nesta propriedade, nas três variedades, com valores compreendidos entre 7% e 20% de perda (Tabela 2). A perda do brilho nos três casos está ligada a remoção da camada de resina, a oxidação de minerais ferromagnesianos como a biotita e o hiperstênio e a remoção do $\text{Fe}(\text{OH})_2$ das fraturas. Para o *Butterfly Beige* o KOH 100 g/L foi o reagente que provocou a maior perda de brilho por remover a camada de resina.

Tabela 2. Resultados, em porcentagem, da perda de brilho das rochas no ataque químico.

Reagentes	Tempo de exposição	<i>Butterfly Beige</i>	<i>Butterfly Gold</i>	<i>Butterfly Green</i>
KOH 30 g/L	96 h	10,2 %	10,5 %	14,3 %
KOH 100 g/L	96 h	16,7 %	7,4 %	16,1 %
HCl 3% v/v	96 h	15,6 %	15,3 %	14,0 %
HCl 18% v/v	96 h	15,3 %	10,5 %	13,9 %
NH_4Cl 100 g/L	24 h	15,3 %	8,2 %	13,3 %
$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ 100 g/L	24 h	16,5 %	12,5 %	19,2 %
$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ 5% v/v	24 h	11,9 %	12,6 %	12,2 %
NaClO 20 mg/L	24 h	12,5 %	11,8 %	11,4 %

Legenda: KOH – hidróxido de potássio; HCl – ácido clorídrico; NH_4Cl – cloreto de amônio; $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ – ácido cítrico; $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ – ácido láctico; NaClO – hipoclorito de sódio.

Para o *Butterfly Gold* a maior perda de brilho foi detectada no ataque com o ácido clorídrico (HCl) na concentração 3% v/v. Teoricamente a intensidade da alteração deveria ser diretamente proporcional ao aumento da concentração do reagente de 3% v/v para 18% v/v. Entretanto, ao observar os corpos de prova, verifica-se que nas porções centrais dos mesmos onde foram realizadas as medições de brilho (eixo horizontal) temos distribuições mineralógicas distintas: no corpo de prova ensaiado com o HCl com concentração em 3% v/v há uma concentração maior de biotita em relação à mesma região no corpo de prova ensaiado com o HCl com concentração em

18% v/v que fez com que a perda de brilho fosse maior com o ácido em concentração mais baixa. Para o *Butterfly Green* o reagente que mais afetou o brilho foi o ácido láctico $C_3H_6O_3$ removendo parcialmente o $Fe(OH)_2$ de suas fraturas e removendo a camada de resina.

Em relação à cor (canais RGB – Tabela 3) para o *Butterfly Beige* os reagentes que causaram as maiores modificações foram, em ordem decrescente, o HCl 18% v/v (R 17%, G 25%, B 30%), o KOH 100 g/L (R 19%, G 20%, B 25%), o HCl 3% v/v (R 3%, G 10%, B 13%) e o KOH 30 g/L (R 0%, G 9%, B 15%).

As variações positivas indicam escurecimento dos minerais em função da alteração do $Fe(OH)_2$ presente, em pequena quantidade em suas fraturas, para $Fe(OH)_3$ devido à mudança de carga do Fe^{2+} para Fe^{3+} provocada pela ação intempérica. Os demais reagentes NH_4Cl , $C_6H_8O_7$, $C_3H_6O_3$ e $NaClO$ não provocaram alterações expressivas de cor.

Tabela 3. Resultados das variações na intensidade dos canais RGB para o *Butterfly Beige*.

Reagentes	Variação na intensidade (%)*								
	<i>Butterfly Beige</i>			<i>Butterfly Gold</i>			<i>Butterfly Green</i>		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
KOH 30 g/L	19	20	25	1	0	-1	0	0	0
KOH 100 g/L	0	9	15	-2	-2	-3	-32	-27	-34
HCl 3% v/v	3	10	13	-6	-7	-9	-103	-98	-123
HCl 18% v/v	17	25	30	-7	-5	-5	-182	-172	-205
NH_4Cl 100 g/L	0	0	0	-2	-1	0	-3	0	3
$C_6H_8O_7$ 100 g/L	1	1	0	-2	-2	-3	-29	-28	-35
$C_3H_6O_3$ 5% v/v	-2	-1	-2	7	4	2	-27	-23	-28
$NaClO$ 20 mg/L	1	1	1	0	0	0	-5	-3	1

Legenda: KOH – hidróxido de potássio; HCl – ácido clorídrico; NH_4Cl – cloreto de amônio; $C_6H_8O_7$ – ácido cítrico; $C_3H_6O_3$ – ácido láctico; $NaClO$ – hipoclorito de sódio. ***Obs.:** Variações positivas indicam escurecimento, negativas clareamento das superfícies.

Para o *Butterfly Gold* os reagentes que causaram as maiores modificações, embora incipientes, foram, em ordem decrescente (Tabela 3), o HCl 3% v/v (R -6%, G -7%, B -9%), o HCl 18% v/v (R -7%, G -5%, B -5%) e o $C_3H_6O_3$ (R 7%, G 4%, B 2%).

As variações negativas indicam leve clareamento por oxidação dos minerais (biotita, granada e hiperstênio). As alterações foram inexpressivas devido ao estado de alteração mais avançado desta com o hidróxido já alterado em sua totalidade para $Fe(OH)_3$. Os demais reagentes NH_4Cl , $C_6H_8O_7$, $NaClO$ e KOH 30 g/L, praticamente não provocaram alterações de cor.

Ao analisar o *Butterfly Green* depara-se com a variedade que sofreu as alterações mais severas dentre as três rochas estudadas.

Os reagentes que provocaram as alterações de cor mais severas foram o HCl 18% v/v (R -

182%, G -172%, B -205%) e o HCl 3% v/v (R -103%, G -98%, B -123%). Em um segundo grupo estão, em ordem decrescente, o KOH 100 g/L (R -32%, G -27%, B -34%), o $C_6H_8O_7$ (R -29%, G -28%, B -35%), o $C_3H_6O_3$ (R -27%, G -23%, B -28%). O segundo grupo atacou cristais de biotita, granada e piroxênio oxidando-os e corroendo-os após remover a camada de resina. O HCl, em suas duas concentrações, reagiu de forma mais agressiva com o $Fe(OH)_2$ penetrando em fraturas e descolorindo a rocha. O *Butterfly Green* é a mais fraturada das três rochas e, diferente do *Beige* e do *Gold*, possui apenas o $Fe(OH)_2$ como preenchimento em suas fraturas o que lhe confere menor resistência em relação às outras rochas.

Ao analisar as relações entre a perda de brilho e as variações de intensidade dos canais RGB nota-se que estas são variáveis independentes pois o brilho pode variar sem que a cor necessariamente mude.

Os reagentes NH_4Cl (Figura 2A) para o *Beige*, $NaClO$ (Figura 2B) para o *Gold* e KOH (Figura 7C) para o *Butterfly Green* foram capazes de provocar alterações nos valores de brilho mas não de alterar a cor da rocha. Percebe-se também que, mesmo com alterações muito severas, os valores de perda de brilho não são influenciados no caso do *Butterfly Green* (Figura 2C), mostrando que os compostos químicos reagiram de forma mais agressivas em suas fraturas e de forma menos intensa em sua superfície.

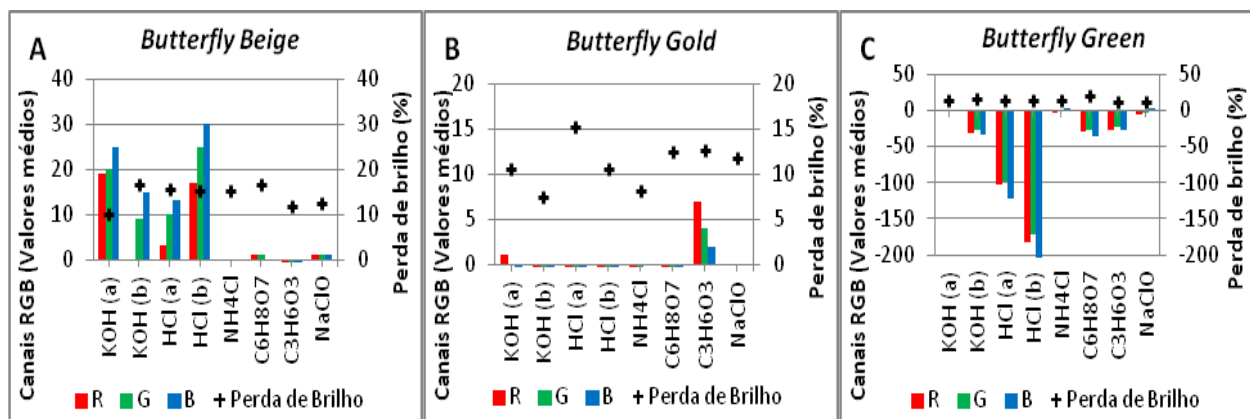


Figura 2. Relação entre a perda de brilho e as variações de intensidade dos canais RGB para os TRE litotipos estudados. **Legenda:** KOH (a) – hidróxido de potássio 30 g/L; KOH (b) – hidróxido de potássio 100 g/L; HCl (a) – ácido clorídrico 3% v/v; HCl (b) – ácido clorídrico 18% v/v.

Dentre as três variedades estudadas, a que melhor responderia a uma aplicação em ambientes onde possíveis exposições aos produtos químicos testados podem ocorrer seria o *Butterfly Gold* devido ao seu estágio de alteração mais avançado e seus menores valores de perda de brilho e cor quando comparada às demais.

A rocha que não seria indicada para um ambiente com produtos químicos potencialmente

agressivos seria o *Butterfly Green* por sua maior susceptibilidade à alteração de cor.

5. CONCLUSÃO

Petrograficamente as rochas estudadas apresentam grande similaridade composicional, textural e estrutural. Apresentam-se, em geral, fraturadas e o tipo de preenchimento e os graus de intensidade com os quais as fraturas ocorrem é fator determinante para a interpretação dos efeitos causados pelo ataque químico ou da preservação das suas características estéticas.

Em relação ao brilho, todos os reagentes provocaram alterações nesta propriedade, nas três variedades, com valores compreendidos entre 7% e 20% de perda devido à remoção da camada de resina, à oxidação de minerais ferromagnesianos como a biotita e o hiperstênio e à remoção do $\text{Fe}(\text{OH})_2$ das fraturas. No tocante à medição de cor nas imagens, as variações positivas e negativas identificadas para os canais RGB mostram que as alterações minerais são facilmente detectáveis, quantificáveis e correlacionáveis com as feições visualizadas nas amostras.

Constatou-se, ao analisar as relações entre a perda de brilho e as variações de intensidade dos canais RGB, que estas são variáveis independentes pois o brilho pode variar sem que a cor necessariamente mude. Mudanças de cor por oxidação ou pela remoção do preenchimento em fraturas foram aspectos detectados pelas medições nas imagens que não seriam quantificados se fossem utilizadas apenas as medições de brilho.

Dentre as três variedades estudadas, a que melhor responderia a uma aplicação em ambientes onde possíveis exposições aos produtos químicos testados podem ocorrer seria o *Butterfly Gold* devido ao seu estágio de alteração mais avançado e seus menores valores de perda de brilho e alteração de cor. A que não poderia ser indicada para um ambiente potencialmente agressivo quimicamente seria *Butterfly Green* por sua maior susceptibilidade à alteração de cor.

6. AGRADECIMENTOS

À Guidoni Mineração Ltda, à CAPES processo: 3030/13-0, ao CNPq Processo: 141706/2012-0, à UNESP e ao Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, NR-ES.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRES-BARROS, L. MAURÍCIO, A. M.; FIGUEIREDO, C. A. **Definição de um índice de alterabilidade de rochas por aplicação de métodos de análise de imagem baseados na morfologia matemática binária.** Geociências, Revista Universidade de Aveiro, vol. 5, fasc. 1.2. 95-102p. 1991.

BOLONINI, T. M. ; SAAR, L. C. A.; GODOY, A. M.; SILVEIRA, L. L. L. **Quantificação mineralógica modal macroscópica, em rochas ornamentais submetidas à coloração seletiva por ataque químico, através da classificação supervisionada de imagens.** *In:* Anais do IX Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. 2016.

CENTROROCHAS. Centro Brasileiro dos Exportadores de Rochas Ornamentais. Informativo das Exportações de Rochas. Disponível em: <http://www.centrorochas.org.br/>. Acesso em: 07/12/2015.

CLEMENTE, I. M.; ARTUR, A. C.; NOGUEIRA NETO, J. A. **Análise de imagens na avaliação do ataque químico em rochas carbonáticas das bacias Potiguar e do Araripe.** Estudos Geológicos, Vol. 23, nº 2, 16p.2013.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Geologia da Folha de Mantena - SE.24-Y-A-VI - Programa Geologia do Brasil - nota explicativa da folha Mantena.** Escala 1:100.000. Brasília, 2007.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral 2013: Rochas Ornamentais. Vol.33. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=3165>. Acesso em: 23 de abril de 2015.

FIGUEIREDO, P.; FIGUEIREDO, C. A.; AIRES-BARROS, L.; FLAMBÓ, A. **Contribuição para o estudo cromático das rochas da capela do Palácio da Bemposta.** Proelium, Revista da Academia Militar. VI série, nº1 , 168-178p., 2004.

GOKAY, M. K.; GUNDOGDU, I. B. **Color identification of some Turkish marbles.** Construction and Building Materials. Vol. 22, 1342–1349p. 2008.

MOTOKI, A.; ZUCCO, L. L.; SICHEL, S. E.; AIRES, J. R. ; PETRAKIS, G. H. **Desenvolvimento da técnica para especificação de cores e a nova nomenclatura para classificação de rochas ornamentais com base nas cores medidas.** São Paulo, UNESP, Geociências, vol. 25, nº 4, 403-415p., 2006.

NIH. National Institutes of Health. U.S. Department of health and Human Services. **ImageJ Software** (2014a). Disponível em: <http://imagej.nih.gov/ij/index.html>. Acesso em: 24.02.2016.

NIH. National Institutes of Health. U.S. Department of health and Human Services. **Image Correlator Plugin** (2014b). Disponível em: <http://imagej.nih.gov/ij/plugins/rgb-measure.html>. Acesso em: 24.02.2016.

TORQUATO, M. F. B.; TORQUATO, J. R. F.; FIGUEIREDO, C. A. M.; NOGUEIRA NETO, J. A. N. **Estudo dos granitos cearenses “Vermelho Filomena, Meruoca Clássico e Verde Ceará” por análise digital de imagem em câmara com atmosfera satura em SO₂.** Geonomos. Vol. 16, nº 2, 51-52p., 2008.

VAZQUEZ, M. A.; GALÁN, E.; GUERRERO, M. A.; ORTIZ, P. **Digital image processing of weathered stone caused by efflorescences: A tool for mapping and evaluation of stone decay.** Construction and Building Materials. Vol. 25, 1603–1611p., 2011.

A INFLUÊNCIA DOS MICRORGANISMOS NA DEGRADAÇÃO DE ROCHAS

Joedy Patrícia Cruz Queiroz¹, Barbara Nunes Tasca², Roberto Carlos da Conceição Ribeiro³

¹Geóloga D. Sc, CETEM/CATE

²Bolsista de Iniciação Científica, UNIGRANRIO

³Engenheiro Químico D. Sc, CETEM/CATE

btasca@cetem.gov.br

RESUMO

O Parque Nacional da Tijuca, situado na zona central da cidade do Rio de Janeiro, protege uma das maiores florestas urbana do mundo, embora sua vegetação resulte de reflorestamento durante o período do Segundo Reinado. É o Parque Nacional mais frequentado do Brasil, recebendo visitantes de diversos lugares que são atraídos pelas suas trilhas e paisagens. Distribuídas nele, existem seis banheiras esculpidas em mármore branco, segundo historiadores, proveniente de Carrara, na Itália, e teriam sido trazidas ao Parque durante o século XIX. A ação das intempéries associada à ação antrópica conduz à destruição de diversos monumentos pétreos de importante significado histórico e cultural. O caso das banheiras da Floresta da Tijuca não é diferente, a atuação desses agentes tem resultado em uma série de patologias e danos tanto na estética, quanto na integridade física das peças. Baseado nestes fatores foi realizado um estudo com a finalidade da caracterização da deterioração dos mármore que compõem as banheiras e verificar o efeito da propagação microbiológica nesse processo.

PALAVRAS-CHAVE: mármore, banheiras, microrganismos.

ABSTRACT

Tijucas National Park is located in the central area of the Rio de Janeiro, protects stone of the largest urban forests in the world, although its vegetation results from reforestation during the period of the Second Empire. It is the most visited national park in Brazil. It receives visitors from many places, who are attracted by their trails and landscapes. Distributed through the park, there are six white marble carved bathtubs, according to historians, from Carrara, Italy, which probably

were brought to the park during the nineteenth century. The weathering processes associated to anthropic action leads to the destruction of many stone monuments of historic and cultural significance. The case of the Tijuca Forest bathtubs is no different, the action of these agents resulted in a number of diseases and damages not only to the aesthetics aspects, but also to the physical integrity of some their structural parts. As an example, the color change caused mainly by the death of microorganisms. Based on these factors, studies were carried out to characterize the microorganisms deterioration in the marble's bathtubs.

KEYWORDS: marble, tubs, microorganisms.

1. INTRODUÇÃO

A degradação das rochas ornamentais é um processo dinâmico e contínuo relacionada aos agentes físicos, químicos e biológicos, muitas vezes modificadas pelas atividades antrópicas, que atuam sobre os materiais originais. No intemperismo biológico os microrganismos exercem uma ação importante no efeito da degradação das rochas, como é possível observar nas banheiras presentes no Parque Nacional da Tijuca. O Parque localizado no Maciço da Tijuca, mais precisamente no Alto da Boa Vista, apresenta abundantes precipitações e ausência de período seco no inverno (ICMBio), tornando-se um local propício para o crescimento de microrganismos.



Figura 1 - Mapa com a localização do Parque Nacional da Tijuca

O Parque Nacional da Tijuca representa um importante papel histórico para a cidade do Rio de Janeiro, com uma infinidade de trilhas e cachoeiras, além de ruínas e acervos do tempo das fazendas de café, dentre estes as banheiras feitas de mármore, que estão distribuídas pelo parque e em diferentes estados de conservação.



Figura 2 – Banheiras de mármore

O conhecimento da história evolutiva das alterações das rochas não é tarefa fácil, pois existem problemas de intensidade, transformação, retrogressão e sobreposição, próprios de cada localidade. Mas, saber a influência local de cada fator e dos processos responsáveis pelo desenvolvimento da alteração na rocha é relevante, pois pode ser um elemento norteador para futuros estudos.

2. OBJETIVO

Diante do estado de conservação das banheiras localizadas na Floresta da Tijuca, a presente pesquisa teve como finalidade analisar a degradação das rochas que compõem as banheiras.

3. METODOLOGIA

3.1. Pontos de Coleta

A coleta de microrganismos foi feita em duas banheiras, uma localizada na área de lazer próximo à ponte Job de Alcântara (Banheira 1) e a outra no centro de visitantes (Banheira 4).



Figura 3 – Mapa com a localização das banheiras

3.2. Amostragem

Foram coletadas amostras em dois pontos diferentes nas duas banheiras. Com o auxílio do *swab*, coletou-se o material biológico presente nas banheiras. Em seguida, reservou o *swab* em um tubo de ensaio com uma pequena quantidade de soro fisiológico. Depois, em laboratório, espalhou-se o material sobre os meios de cultura. Para cada ponto coletado, o material foi inoculado em placa contendo meio TSB e/ou meio BDA, em duplicatas. O meio TSB (caldo de triptona de soja) é um meio altamente nutritivo e versátil, normalmente utilizado para crescimento de bactérias. Já o meio BDA (Batata Dextrose Agar) é o meio comumente empregado para a cultura de fungos.

3.3. Isolamento

Em laboratório, as placas foram mantidas em estufa a 30°C, por 4 dias. Ao final desse tempo, foi possível observar o crescimento de diversas colônias de microrganismos. A avaliação do crescimento microbiano foi visual, sendo selecionados os morfotipos diferentes presentes nas placas. Após a seleção das colônias, procedeu-se o esgotamento por estrias no meio sólido correspondente (TSB ou BDA). A identificação dos microrganismos foi feita visualmente, com o uso do microscópio óptico Bel Photonics Solaris

3.4. Análise Química

Fragmentos de mármore que estavam se desprendendo das banheiras foram avaliados por meio da técnica de fluorescência de raios-x (FRX).

3.5. Análise Petrográfica

A análise petrográfica teve o objetivo de identificar as texturas nas amostras das banheiras, bem como verificar as alterações presentes. As amostras foram analisadas através de lâminas em Lupa binocular e Microscópio petrográfico.

3.6. Difração de Raios-X

Os difratogramas de raios-X das amostras, obtidos pelo método do pó, foram coletados em um equipamento Bruker-D4 Endeavor, nas seguintes condições de operação: radiação Co K α (40 kV/40 mA); velocidade do goniômetro de 0,02o 2 θ por passo com tempo de contagem de 0,5 segundos por passo e coletados de 4 a 80o 2 θ com detector linear sensível à posição LynxEye. As interpretações qualitativas de espectro foram efetuadas por comparação com padrões contidos no banco de dados PDF02 (ICDD, 2006) em software Bruker DiffracPlus.

3.7. Microscopia Eletrônica de Varredura e Sistema de Energia Dispersiva

O material coletado foi submetido a análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e de Sistema de Energia Dispersiva (EDS) acoplado.

Ao MEV pode ser acoplado o sistema de EDS (Energy Dispersive System), o qual possibilita a determinação da composição qualitativa e semiquantitativa das amostras, a partir da emissão de Raios-X característicos (Duarte et al, 2003).

4. RESULTADOS

4.1. Identificação das Patologias

As banheiras estudadas estão situadas em uma área de florestas, nas proximidades da cidade, estando sujeitas aos efeitos climáticos regionais, acentuado pelos efeitos locais resultante da alta umidade, dos poluentes atmosféricos, chuvas ácidas entre outros. Todos estes processos intempéricos acabam por fim arruinando as peças ali presentes, principalmente como perda de material rochoso, mudança na coloração (manchamento e descoloração), depósito, desintegração e fissuras.



Figura 4 – Perda de massa rochosa devido a dissolução em meio ambiente quimicamente agressivo

As modificações na coloração podem estar relacionadas à precipitação de hidróxidos de ferro e/ou de cimento carbonático hidratado; à deposição de sujeiras na superfície – ocasionando

a aparência amarelada e encardida – ou mesmo à percolação da água da chuva na maior parte das vezes com CO₂ diluído. Observa-se também mudança na cor causada pela presença superficial de plantas aéreas e microrganismos (Figura 4). As plantas aéreas e os microrganismos possuem cor verde, mas com sua morte adquirem cor preta (Philipp & Benedetti, 2007).



Figura 5 – Manchas causando a modificação na coloração

A presença de trinca e fraturas pode estar associada a diversos fatores, como a falta de cuidado dos usuários do parque que entram em contato com as peças de maneira inadequada, ao elevado índice de dilatação térmica devido à exposição a amplas variações térmicas, ou mesmo a baixa resistência ao impacto devido ao tráfego de veículos no local.



Figura 6 - Fissuras e fraturas encontradas nas banheiras

4.2. Análise Química

Os resultados da análise química demonstraram a predominância na percentagem de cálcio sobre o magnésio caracterizando um mármore calcítico. Com relação aos outros elementos analisados pode-se verificar um aumento no percentual de alumínio na amostra de alteração, assim como do magnésio e anidrido silícico. Já para o cálcio, houve uma diminuição na percentagem. Comparando as percentagens dos elementos estudados da amostra da banheira 1 e 2 temos valores aproximados, tanto para cálcio, como para magnésio que são elementos dos minerais, calcita e dolomita, constituintes do mármore (Tabela 1).

Segundo Lazzarini & Tabasso (1986) ambos minerais se caracterizam por apresentar baixa estabilidade em condições intempéricas, principalmente em presença de água. O íon CO₃⁻² é muito instável em presença do íon H⁺ (Philipp & Benedetti, 2007). A calcita, a temperatura

ambiente, é pouco solúvel na água pura, mas quando em contato com anidrido carbônico dissolvido em água torna-se muito solúvel. A dolomita também é solúvel em água carbônica, mesmo que menor quantidade. Este fato pode explicar a diminuição da percentagem de Cálcio na amostra de alteração.

Tabela 1. Percentagem de Al, Ca, Mg e Si

Amostras	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₂
Banheira 1	0,16	37,8	0,42	2,9
Banheira 2	0,94	34,3	0,77	0,90
Alteração	16,8	24,6	8,7	14,9

4.3. Análise Petrográfica

As banheiras são feitas de mármore branco, com alguns veios acinzentados com tamanho variando de alguns milímetros a 1 centímetro. Localmente ocorrem fissuras preenchidas por veios de carbonato de pequenas espessuras e limites curvilíneos.

Microscopicamente as duas banheiras estudadas correspondem a mármore calcítico, textura granoblástica poligonal média a grossa, o tamanho dos cristais variam entre 1 a 2 mm, podendo atingir 2 cm. Nas duas banheiras a análise petrográfica demonstrou zonas com maior alteração, que são caracterizadas pela recristalização da calcita com cristais idiomórficos de pequeno tamanhos. Nota-se ainda, porções com dissolução dos grãos total ou parcial formando pequenas cavidades.

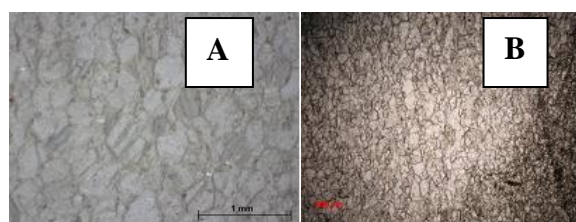


Figura 7 - Principais características composicionais e texturais do mármore de que é feita a banheira 1. A) Textura geral (lupa binocular); B) Textura geral (microscópio ótico - luz natural).

4.4. Difração de Raios-X

Analisando os difratogramas de Raios-X, observa-se que nas banheiras 1 e 2, os maiores picos de intensidade são oriundos da calcita. Já na amostra recolhida proveniente da alteração, percebe-se que esses picos estão indicando a presença de dolomita e quartzo.

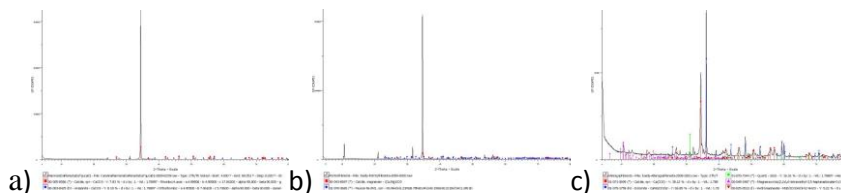


Figura 8 - Difratoograma de Raios-X das amostras das banheiras 1 e 2 e da alteração: a) e b) Presença de picos de intensidade essencialmente de calcita; c) Nota-se com facilidade a diminuição na intensidade do pico da calcita e o surgimento de picos relativos a outros minerais.

A Difração de Raios-X corrobora o que já havia sido observado na análise química: presença quase que exclusiva de calcita nas banheiras 1 e 2, e na alteração, a presença de outros minerais além dos formados por carbonato de cálcio.

4.5. Microscopia Eletrônica de Varredura e Sistema de Energia Dispersiva

Ao analisar as imagens concedidas pelo MEV, é possível chegar à mesma conclusão que as análises anteriores. Examinando a Figura 11, observa-se com clareza a clivagem característica da calcita, assim como os planos extremos dos blastos, distintos do sistema cristalino romboédrico.

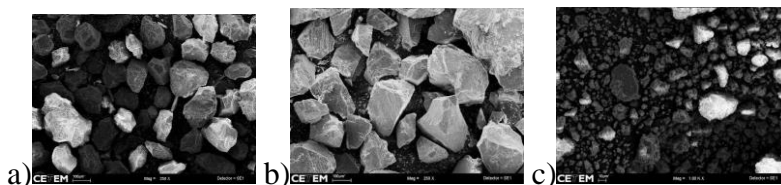


Figura 9 - Imagens do mármore proveniente das banheiras 1 e 2 e alteração, respectivamente.

Em relação ao material oriundo da alteração, percebe-se, agora sem muita clareza, em alguns grãos, a clivagem da calcita, porém de maneira muito mais difusa do que o visto nas imagens anteriores.

Os dados do EDS mais uma vez corroboram com os resultados anteriores. Na Figura 12 observam-se picos de intensidade indicando a existência de calcita tanto no material procedente da banheira 1 quanto da banheira 2 e a presença de outros minerais, quando se concerne o material originário da alteração.

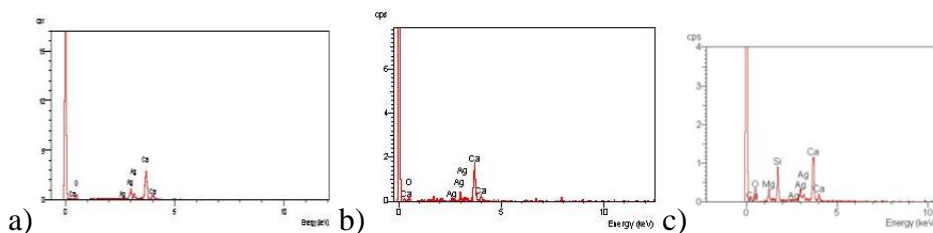


Figura 12 - Picos de Intensidade na banheira 1 (a) e 2 (b) e alteração (c), respectivamente. Exclui-se a presença da prata para fins de interpretação, pois esta foi usada apenas com a finalidade de metalização do material para que ensaio no MEV fosse possível.

No ensaio de EDS, verificam-se intensidades de outros elementos na e, tendo como base os ensaios anteriores, pode-se concluir que a alteração das banheiras resultou nos elementos formadores dos minerais quartzo e dolomita, que foram apontados na difração de Raios-X da mesma amostra.

4.7 Avaliação microbiológica

Através deste trabalho foi possível verificar a provável presença de bactérias na primeira coleta da banheira número um. A amostra da segunda foi contaminada sendo difícil a identificação. Na amostra resultante da primeira coleta realizada na banheira número dois, foi observada a provável presença de fungos em meio BDA, e de possíveis actinomicetos em meio TSB. Na segunda coleta, há a possível presença de leveduras.

5. CONCLUSÃO

Há uma mudança na coloração que é causada pela presença superficial de plantas aéreas e microrganismo, já que estes possuem cor verde porém em sua morte adquirem cor preta. Apesar de ter sido feito a identificação, é necessário o reconhecimento por espécies para saber mais sobre a ação dos microrganismos na deterioração do mármore.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CETEM pela infraestrutura, a todos os colaboradores da CATE e ao CNPq pelo apoio financeiro.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DUARTE, L. C.; JUCHEM, P. L.; PULZ, G. M.; BRUM, T. M. M.; CHODUR, N.; LICCARDO, A.; FISCHER, A. C.; ACAUAN, R. B.. Aplicações de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Sistema de Energia Dispersiva (EDS) no Estudo de Gemas: exemplos brasileiros. Pesquisas em Geociências, v.30(2) p.3-15, 2003

LAZZARINI L., TABASSO M.L. Il Restauro della Pietra. 1 ed. Padova, CEDAM, 1986. 315p.

MAYA, R. O. C.A floresta da Tijuca. Rio de Janeiro. Bloch Editôres. 1967. Disponível em: <www.objdigital.bn.br/objdigital2/acervo_digital/div_obrasgerais/drg605826/drg605826.pdf>. Acesso em: 18/02/2016.

MORANI, M. B.; Queiroz, C. P. J.; Ribeiro, C. C. R. Caracterização da deterioração do mármore componente das banheiras históricas situadas no Parque Nacional da Tijuca. *In: Jornada de Iniciação Científica*, 17. Rio de Janeiro. 2014. Rio de Janeiro: CETEM, 2014.

<http://www.icmbio.gov.br/parnatijuca/informacoes-gerais.html> Acessado em: 20/02/2016 às 14:32

PHILIPP, R. P.; BENEDETTI, V. D. Análise e avaliação da deterioração do revestimento de mármore da cúpula da Catedral Metropolitana de Porto Alegre, RS. *Revista Brasileira de Geociências*. V.37(4) p.650-659, dezembro de 2007

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE PROTETIVOS EM ROCHAS E MINERAIS UTILIZADOS NA CONSERVAÇÃO DE BENS PÉTREOS

Daniel Silva Barbutti¹, Roberto Carlos da Conceição Ribeiro², Rosana Elisa Coppedê da Silva³

¹ Estudante de graduação em Química Industrial (UFRJ), Coord. de Apoio Técnico às Micro e Pequenas Empresas – CATE / Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/MCTI

² Engenheiro Químico, D.Sc., Coord. de Apoio Técnico às Micro e Pequenas Empresas – CATE / Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/MCTI

³ Engenheira Geóloga, D.Sc., Coord. de Apoio Técnico às Micro e Pequenas Empresas – CATE / Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/MCTI

E-mail: dbarbutti@cetem.gov.br / danielbarbutti@gmail.com

RESUMO

Os monumentos pétreos são constantemente degradados devido à exposição a vários tipos de intemperismos, sejam eles físicos ou químicos. A busca por preservação, conservação e restauro destes monumentos é importante para resguardar informações históricas, artísticas e culturais de um povo e da humanidade. Porém, o conhecimento tecnológico não é aplicado na seleção do protetivo mais adequado para cada tipo de rocha, podendo prejudicar sua conservação a longo prazo. Neste estudo, foram realizadas avaliações para verificar a interação química entre dois agentes de proteção e a superfície de algumas rochas ornamentais, bem como a superfície dos principais minerais que as compõem. Para isso, foram executadas análises de caracterizações química e mineralógica dos minerais e rochas por meio de Fluorescência de Raios-X e Difração de Raios-X e caracterização dos agentes de proteção por meio de análise por espectroscopia no infravermelho. Para verificar a interação entre eles, foram realizadas análises de adsorção por espectrofotometria e ensaios de índices físicos das rochas (absorção de água e porosidade). Os resultados obtidos demonstraram uma melhor interação entre os protetivos e as rochas com maiores teores de calcita e micas, além de verificar uma melhor adsorção dos mesmos protetivos por parte destes minerais. Assim, demonstra-se que é possível auxiliar profissionais do campo de conservação e restauro na seleção do melhor agente de proteção para cada tipo de rocha a ser

tratada, por meio de análises prévias da constituição da rocha e sua respectiva interação com o protetivo a ser utilizado, ampliando assim o suporte tecnológico aos profissionais do setor.

PALAVRAS-CHAVE: Rochas Ornamentais, Conservação e Restauro, Monumentos

ABSTRACT

Stone monuments are constantly degraded due to exposure to natural weathering effects. The preservation, conservation and restoration of monuments is important for safeguard historical and artistic information from a culture. However, technological knowledge is not applied on selection of the most suitable protective for each stone jeopardizing your conservation. In this study, evaluations were performed to verify chemical interactions between two protective agents on some dimension stones surfaces and the main minerals that compose them. Chemical and mineralogical characterization were performed on dimension stones and minerals by Fluorescence X-ray and Diffraction X-ray analysis while the protectives characterization was performed by infrared spectroscopy analysis. The effectiveness of the protectives on dimension stones was evaluated by water absorption and porosity properties before and after applying them on their surfaces, while the interaction between the protectives and minerals was evaluated by adsorption spectrophotometry. The results demonstrated a better interaction between the protective and rocks with higher levels of calcite and micas, in addition to better adsorption of the protectives by the same minerals. Therefore, it demonstrated that it is possible to help conservation and restoration professionals in the selection of best protection for each stone through previous analysis, increasing the technological support to this sector.

KEYWORDS: Dimension Stones, Conservation and Restoration, Monuments

1. INTRODUÇÃO

A conservação e restauro de monumentos pétreos históricos são de vital importância para a humanidade, resguardando a cultura dos povos que as construíram e auxiliando os historiadores a compreender antigas civilizações. No entanto, devido à exposição constante a diversos tipos de intemperismos, tais monumentos sofrem degradações que alteram a estrutura de suas rochas constituintes, algumas vezes de forma irreversível. Os mecanismos de degradação ainda não são completamente compreendidos, mas fatores como composição mineralógica, coesão e

propriedades físicas do substrato rochoso são importantes no processo (FERRI, et al, 2012), além de cristalização de sais, substâncias emitidas por indústrias químicas, queima de combustíveis fósseis, expansões térmicas de cada mineral por conta do clima, entre outros (ÖZTÜRK, 1992).

A água é um dos principais agentes causadores de alterações, agindo de diversos modos na aceleração da deterioração. Ao adentrar nos poros da rocha, há a dissolução de sais solúveis reduzindo a coesão. Gases ácidos presentes em centros urbanos como os óxidos de enxofre e nitrogênio reagem com água levando a precipitação ácida e atacando a superfície das rochas, degradando principalmente os mármore, que perdem massa e podem sofrer mudanças na coloração de sua superfície (FERRI, et al, 2012). A presença de água também promove a propagação microbológica, que absorve minerais da rocha e altera sua coloração e estrutura (ÖZTÜRK, 1992).

A proteção é a etapa onde há a adição de uma fina camada, geralmente polimérica e hidrofóbica, na superfície das rochas. O protetivo deve minimizar as alterações por parte dos diversos fenômenos descritos anteriormente, repelindo a maior parte da água. Entretanto, alguns agentes de proteção podem causar alterações irreversíveis ao monumento. É importante que haja estudos prévios para a seleção do produto mais adequado à constituição da rocha a ser conservada. Porém, o mercado possui muitos produtos, dificultando a escolha do mais apropriado e ameaçando a correta preservação dos monumentos. Aliado a este fator, os profissionais especializados em conservação e restauro não possuem conhecimento tecnológico individual para a seleção do melhor protetivo, se baseando geralmente no modelo empírico para realizar o tratamento.

Deste modo, o foco do presente estudo foi buscar compreender como ocorre a interação entre alguns agentes de proteção comercialmente disponíveis e os principais minerais que compõem as principais rochas ornamentais.

2. AMOSTRAS UTILIZADAS

Para esta avaliação, foram utilizadas quatro rochas ornamentais e quatro minerais que correspondem aos principais constituintes das mesmas. As quatro rochas utilizadas foram os granitos “Preto”, “Venetian Gold” e “Ás de Paus” e o calcário “Cariri”. Os minerais representativos dos granitos amostrados foram o quartzo, um feldspato alcalino e uma mica, enquanto para representar o calcário foi utilizado o mineral calcita, componente principal de calcários e mármore. Os agentes de proteção utilizados serão aqui chamados de “A” e “B”, por questões

éticas, onde a composição principal do protetivo A é uma resina orgânica emulsionada em água, e do protetivo B uma mistura de silanos e siloxanos solúvel em solventes orgânicos.

3. MÉTODOS

3.1 Preparo das amostras

As amostras minerais foram submetidas a etapas de beneficiamento para que pudessem atingir a granulometria adequada e garantir a representatividade amostral em casa ensaio realizado. Os minerais utilizados na análise de adsorção espectrofotométrica foram cominuídos, homogeneizados e quarteados, se utilizando apenas da fração granulométrica presente no intervalo entre 0,354 mm e 0,250 mm. Para os ensaios de índices físicos, as amostras de rochas ornamentais foram cortadas em blocos compatíveis com a norma ABNT/NBR 12.766:1992, equivalente a atual norma ABNT/NBR 15.845-2:2015, referente à determinação de densidade aparente, porosidade e absorção de água.

3.2 Caracterizações química e mineralógica das rochas e minerais

As caracterizações química e mineralógica das rochas ornamentais e minerais foram executadas por meio de análises de Fluorescência de Raios-X (FRX) e Difração de Raios-X (DRX), respectivamente, realizadas pela Coordenação de Análises Minerais (COAM) do CETEM. O FRX se destaca pela determinação da composição química das amostras, geralmente em forma de óxidos, e se baseia na irradiação de um feixe característico do elemento químico após receber energia suficiente de um feixe primário. O DRX, por sua vez, bombardeia a amostra com feixes de raios X que são difratados por seus planos cristalinos, gerando interferências construtivas identificadas de acordo com as estruturas cristalinas pré-determinadas do banco de dados do difratômetro de raios X (LUZ, et al., 2010).

3.3 Determinação dos índices físicos

O objetivo da determinação de índices físicos é verificar o estado de alteração e a coesão da rocha amostrada, uma vez que eventuais microfissuras podem ser responsáveis por afetar a integridade da mesma, impedindo sua aplicação em aplicações que demandem alguma propriedade física necessária. As quatro amostras de rochas foram cortadas em blocos de 5,0 cm x 5,0 cm x 5,0 cm e estes corpos de prova permaneceram em estufa a 70 °C por 24 horas para se obter o peso seco (P_{seco}) em uma balança analítica em seguida. Após a pesagem, foram submergidos em água

deionizada por mais 24 horas e assim foram obtidos os pesos saturado (P_{sat}) e submerso (P_{sub}) por meio de uma balança de precisão hidrostática. Após estas determinações é possível obter, mediante fórmulas matemáticas exibidas nas Equações (1) e (2), os valores de porosidade e absorção de água. Os corpos de prova foram então novamente enviados à estufa, e depois de secos, metade recebeu a aplicação do agente de proteção A e metade do agente de proteção B. Os ensaios foram repetidos para verificar as alterações na porosidade e absorção de água antes e após tratamento superficial dos corpos de prova rochosos.

$$Porosidade (\%) = \frac{P_{sat} - P_{seco}}{P_{sat} - P_{sub}} \times 100 \quad (1)$$

$$Absorção \text{ de } \text{Água} (\%) = \frac{P_{sat} - P_{seco}}{P_{seco}} \times 100 \quad (2)$$

3.4 Análise da adsorção dos protetivos pelos minerais por espectrometria

Com o intuito de se avaliar a interação entre os protetivos e os minerais amostrados, foram preparadas soluções contendo tais minerais e todas foram analisadas em um equipamento de espectrofotometria da marca LaMotte. Os agentes de proteção foram solubilizados em solventes adequados e comprimentos de onda específicos, como visto na Tabela 1, após uma série de análises preliminares por toda a faixa de comprimentos de onda existente no equipamento. Em tubos Falcon de 50 mL, foram adicionados 10 mL de uma solução de protetivo e 0,5 g de um mineral. Todos os tubos preparados foram devidamente agitados por 6 horas, centrifugados a 2500 rpm por 20 minutos e o sobrenadante resultante destas etapas foi analisado.

Tabela 1. Parâmetros utilizados para adsorção dos agentes de proteção pelos minerais durante análise espectrofotométrica.

Agente de Proteção	Solvente	Concentrações (% V/V)	Comprimento de Onda (nm)
A	Água Milli-Q	0,5 / 1,0 / 2,0 / 5,0	775
B	Hexano Grau P.A.	10 / 40 / 70 / 100	400

Esta análise permite identificar qual mineral apresenta uma maior probabilidade de adsorver os agentes de proteção. Há uma tendência a se obter maiores valores de transmitância para minerais que adsorvam mais os protetivos, removendo-os da solução temporariamente, e assim indicando que este mineral pode interagir de forma mais eficaz com o protetivo em questão.

3.5 Caracterização dos agentes de proteção

Os dois agentes de proteção foram caracterizados por meio de um equipamento de Infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) da marca Bomem FTIR, série MB100, preparando-as amostras com 1 mg de protetivo e 99 mg de brometo de potássio grau espectroscópico, que foram analisadas na região de 4000 cm^{-1} a 400 cm^{-1} . A partir da interpretação das bandas presentes, foi possível idealizar uma molécula hipotética que representou cada agente de proteção, auxiliando no entendimento das possíveis interações com os minerais.

4. RESULTADOS

As análises de caracterização química e mineralógica permitiram confirmar a idoneidade das amostras minerais e rochosas. A Figura 1 ilustra os teores químicos de cada rocha ornamental obtidos pela análise por FRX.

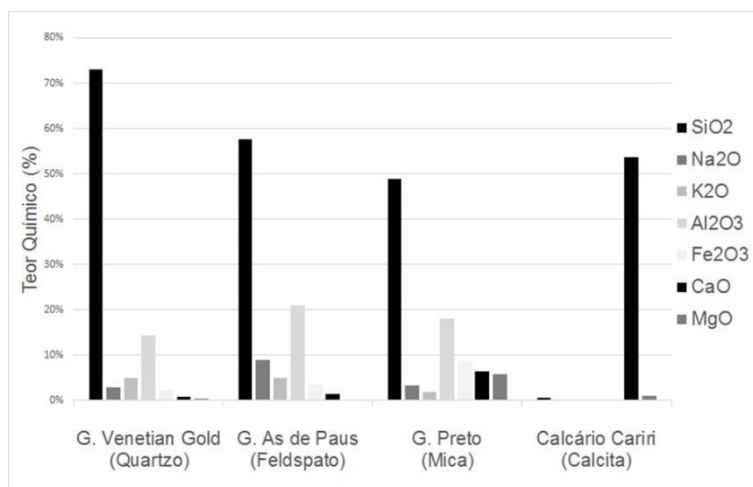


Figura 1 – Teores químicos das rochas ornamentais amostradas (elaboração dos autores).

Na figura, é possível observar que o granito “*Venetian Gold*” apresentou os maiores teores de sílica, com aproximadamente 72%, possivelmente associado aos minerais quartzo e feldspato. Os granitos “*Ás de Paus*” e “*Preto*” apresentaram valores moderados para alumina, de 21% e 18% respectivamente, indicando possivelmente uma maior presença de feldspatos nestas amostras. O granito “*Preto*” ainda exibiu os maiores valores de ferro na composição, cerca de 8%, possivelmente associado a uma maior presença de micas. O calcário “*Cariri*” demonstrou uma composição majoritariamente calcítica, com mais de 50% de cálcio, enquanto o restante do material foi perdido por calcinação, consequência intrínseca ao método de análise, devido à alta

presença de carbonatos que são perdidos por decomposição térmica. As análises de DRX corroboraram os resultados do FRX, com os granitos possuindo picos coerentes com os teores aqui exibidos. Desse modo, foi possível criar uma relação entre cada rocha ornamental e um mineral específico, como pode ser visto na legenda das amostras na Figura 1 e na ordem a seguir, de acordo com a tendência a maiores teores de sílica (quartzo), alumina (feldspatos), ferro (micas) e cálcio (calcita), respectivamente: “*Venetian Gold*”, “*Ás de Paus*”, “*Preto*” e “*Cariri*”. Isto promoveu um melhor encadeamento lógico com os resultados subsequentes.

Os ensaios de índices físicos, especificamente os valores obtidos para absorção de água e porosidade, estão representados nas Figuras 2 e 3, respectivamente. É possível notar que os valores de absorção e porosidade foram reduzidos após o tratamento das rochas ornamentais com os protetivos A e B, demonstrando uma certa eficácia por parte dos agentes de proteção. No entanto, em alguns casos a redução foi praticamente nula, como podemos ver na absorção de água do granito “*Ás de Paus*”, que já era inicialmente pequena. De um modo geral, observa-se que o agente de proteção A foi mais eficaz que o B, principalmente para o calcário “*Cariri*”, onde sua absorção de água reduziu de 2,7% para 2,2% e sua porosidade de 6,3% para 5,4%.

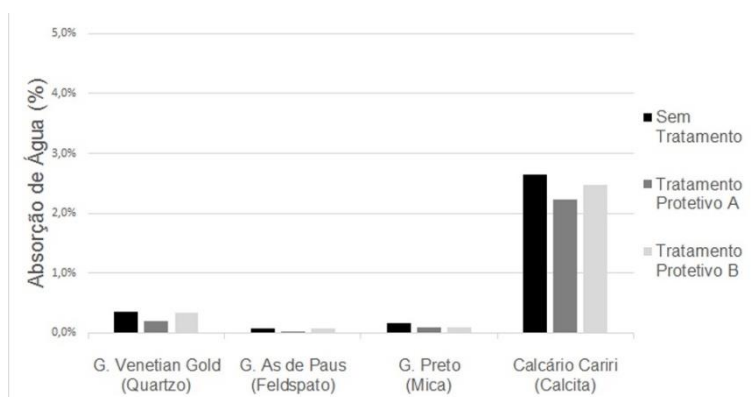


Figura 2 – Absorção de água antes e após aplicação dos protetivos nas rochas ornamentais amostradas (elaboração dos autores).

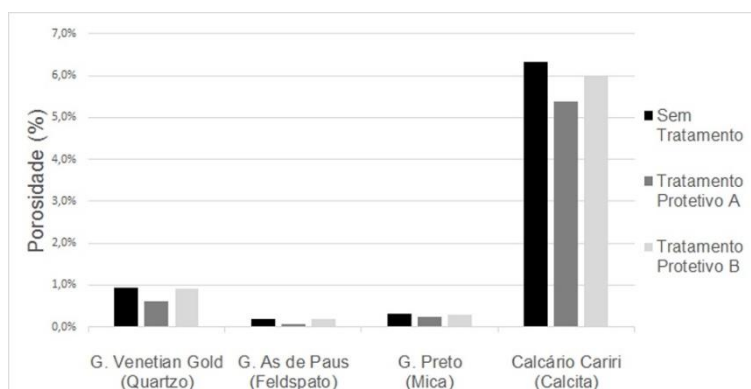


Figura 3 – Porosidade antes e após aplicação dos protetivos nas rochas ornamentais amostradas (elaboração dos autores).

A análise de adsorção por parte dos minerais por método espectrofotométrico pode ser vista nas Figuras 4 e 5, para os protetivos A e B. Os resultados estão de acordo com os encontrados para os índices físicos, ficando evidente que a adsorção aumenta com o aumento da concentração de protetivo em solução. Além disso, houve uma maior adsorção do protetivo A por parte dos minerais quando comparado ao B, como visto para as matrizes rochosas no ensaio anterior. O agente de proteção A apresentou valores de cerca de 98% de adsorção por parte da mica em concentração de 5,0%, enquanto o B não ultrapassou valores de 80% para o mesmo mineral em concentração de 100%. Também é notável a maior adsorção por parte dos minerais mica e calcita para ambos os casos.

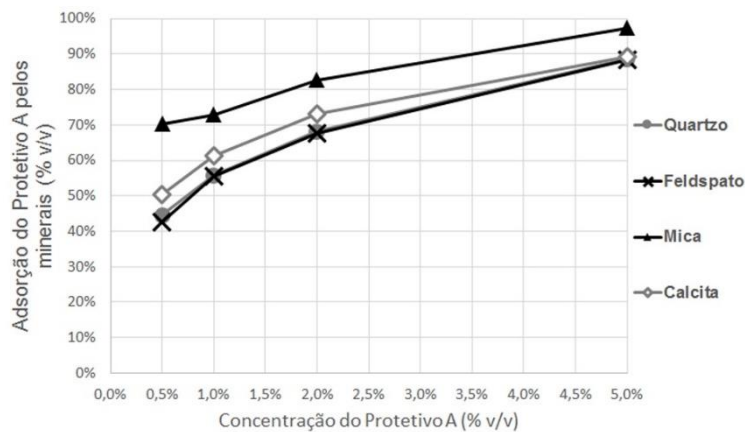


Figura 4 – Adsorção do agente de proteção A pelos minerais (elaboração dos autores).

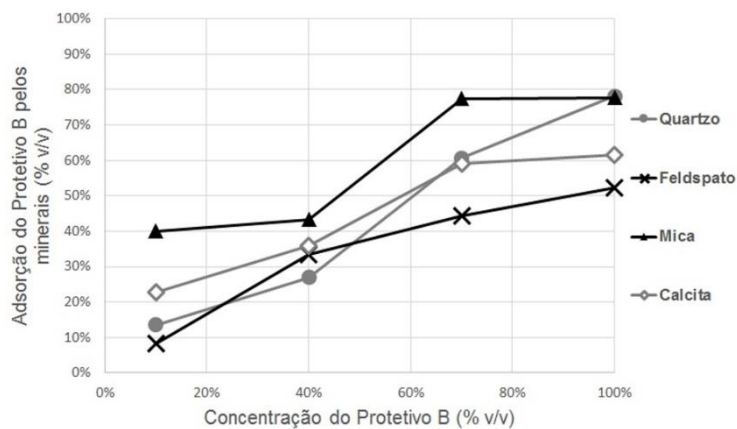


Figura 5 – Adsorção do agente de proteção B pelos minerais (elaboração dos autores).

A adsorção elevada da mica pode estar relacionada à sua estrutura lamelar, característica dos filossilicatos, onde há a inclusão de elementos como o ferro e o alumínio em substituição a átomos de silício, fazendo com que haja uma tendência a uma maior interação eletrostática com os agentes de proteção quando há presença dos mesmos em sua superfície, uma vez que átomos de ferro e alumínio tendem a ser mais polarizantes. A calcita, por sua vez, é composta majoritariamente por carbonatos, que apresentam diversos oxigênios em sua composição com dois pares de elétrons disponíveis para interagir. Estes pares de elétrons também permitem uma maior interação eletrostática superficial com os agentes de proteção.

Os espectros de infravermelho permitiram idealizar estruturas moleculares que representassem cada um dos agentes de proteção. O protetivo A exibiu picos indicando a presença de ésteres em sua composição, por meio de ligações simples e duplas entre carbono e oxigênio, além de ligações carbono-hidrogênio. O protetivo B, por sua vez, apresentou bandas indicativas de ligações silício-oxigênio e silício-radicaís orgânicos, sugerindo a presença de silanos e siloxanos. As duas estruturas hipotéticas estão ilustradas na Figura 6, enquanto a Figura 7 ilustra a interação delas com uma superfície rochosa qualquer.

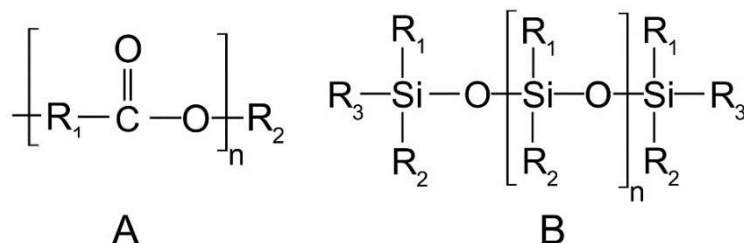


Figura 6 – Moléculas hipotéticas representativas dos protetivos A e B (elaboração dos autores).

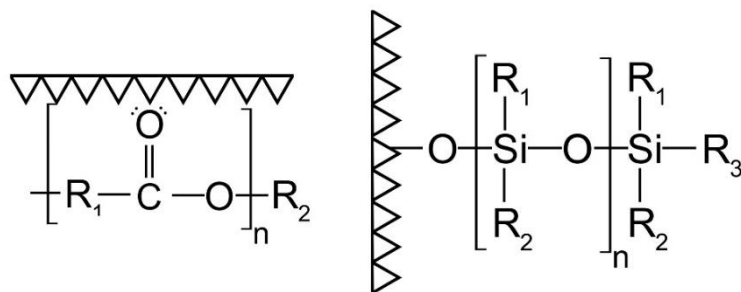


Figura 7 – Interação das moléculas representativas dos protetivos A e B com superfícies rochosas quaisquer (elaboração dos autores).

O poliéster representado para o protetivo A apresenta um oxigênio disponível para interagir com a superfície por meio de seus pares de elétrons livres, enquanto o resto da cadeia tende a formar

uma cada protetora. O protetivo B, um siloxano, apresenta um oxigênio disponível para interações, mas que sofre impedimento estérico por parte das ramificações existentes na cadeia principal, causando instabilidade e reduzindo a possibilidade de uma interação tão estável quanto a presente no agente de proteção A.

5. CONCLUSÕES

Os resultados encontrados permitiram concluir que o agente de proteção A apresentou melhor eficácia que o B, e que rochas com maiores teores de micas e calcitas em sua composição tendem a apresentar melhores resultados durante a aplicação dos protetivos aqui estudados. Assim, é possível demonstrar a importância de estudos preliminares que caracterizem os agentes de proteção pré-selecionados, bem como as rochas constituintes dos monumentos a serem conservados e restaurados, de modo a auxiliar os profissionais do setor a escolher o melhor produto para cada tipo de rocha, promovendo um melhor suporte tecnológico à conservação e restauro de monumentos pétreos, resguardando as propriedades culturais e artísticas de um povo.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CETEM pela infraestrutura, colaboradores da CATE pelo apoio e ao CNPq pelo apoio financeiro.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FERRI, L.; LOTTICI, P. P.; LORENZI, A.; MONTERENO, A.; SAVIOLI-MARIANI, E. Study of sílica nanoparticles – polysiloxane hydrophobic treatments for stone-based monument protection. **Journal of Cultural Heritage**, Elsevier Masson, França, Vol 12 (2011), p. 356-363.

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. **Tratamento de minérios**. 5a edição, Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTI, 2010. 965 p.

ÖZTÜRK, I. **Alkoxysilanes consolidation of stone and earthen building materials**. Tese (Mestrado em Ciência) – Programa de Graduação em Preservação Histórica, Universidade da Pensilvânia, Pensilvânia, 1992.

AVALIAÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE MINERAIS E AGENTES DE PROTEÇÃO UTILIZADOS NA CONSERVAÇÃO E RESTAURO DE MONUMENTOS PÉTREOS

Daniel Silva Barbutti¹, Roberto Carlos da Conceição Ribeiro²

¹ Aluno de graduação em Química Industrial (UFRJ), Coord. de Apoio Técnico às Micro e Pequenas Empresas
– CATE / Centro de Tecnologia Mineral CETEM/MCTI

² Engenheiro Químico, D.Sc., Coord. de Apoio Técnico às Micro e Pequenas Empresas – CATE / Centro de
Tecnologia Mineral CETEM/MCTI

E-mail: dbarbutti@cetem.gov.br / danielbarbutti@gmail.com

RESUMO

Neste trabalho, foram investigadas as interações entre agentes de proteção hidrorrepelentes e os principais minerais componentes das principais rochas ornamentais. Os minerais foram caracterizados química e mineralogicamente por meio de Difração de Raios X e Fluorescência de Raios X e os protetivos por análise espectroscópica na região do infravermelho. As interações foram avaliadas se utilizando de análises de adsorção dos agentes de proteção por parte das superfícies minerais por meio de espectrofotometria, ângulo de contato estático e tensão superficial dos agentes e proteção. A partir dos resultados obtidos, foi observado o desempenho dos três protetivos estudados e uma tendência a melhores interações químicas por parte dos minerais muscovita e calcita. Os agentes de proteção com menores tensões superficiais apresentaram menores ângulos de contato antes da etapa de cura dos mesmos, confirmando que menores ângulos de contato sugerem uma maior molhabilidade e conseqüentemente um melhor espalhamento na superfície, estando assim de acordo com os resultados esperados. Este estudo demonstra a possibilidade de conceder um melhor suporte tecnológico a profissionais do setor de conservação e restauro a partir da correta seleção de um agente de proteção para o monumento pétreo a ser tratado, mediante uma análise prévia de sua composição e permitindo assim que estes possam ser preservados, conservados e restaurados de maneira mais adequada.

PALAVRAS-CHAVE: Rochas ornamentais, Mineral, Mineralogia Aplicada

ABSTRACT

In this work, interactions between hydrophobic protective coatings and main minerals that compose the main dimension stones was evaluated. The minerals were chemically characterized by X-Ray Fluorescence and mineralogically characterized by X-Ray Diffraction, while protectives were characterized by Infrared Spectroscopy. The interactions were investigated using adsorption of protectives the minerals (evaluated by spectrophotometry analysis), static contact angle determination on mineral surfaces, and interfacial tension determination of the protectives. Based on the obtained results, the performance of the three protective studied was observed and a trend to better interactions between protectives and the minerals muscovite and calcite. Protectives with lower surface tension also displayed smaller contact angle before formation of the hydrophobic coating, performing better with minerals and suggesting that smaller contact angle will have higher wettability and better spreading on the surface, in accordance to the expected results. This study demonstrates the possibility of granting a better technological support to Conservation and Restoration professionals selecting an adequate protective for the stone-based monument by a prior analysis of their composition, allowing the monuments can be preserved, maintained and restored in a more adequate way.

KEYWORDS: Dimension Stones, Mineral, Applied Mineralogy

1. INTRODUÇÃO

A exposição de rochas à ambientes agressivos, como centros urbanos, com alta umidade e/ou à resíduos animais, como urina, ocasionam sua degradação rapidamente. Monumentos constituídos de rochas ornamentais, erguidos por civilizações antigas e resguardando a cultura e a arte de seu povo, permanecem dividindo sua presença com o mundo atual. No entanto, eles também são ameaçados por estas alterações físicas e químicas, naturais e antrópicas, e devem ser tratados, preservados, conservados e restaurados para que a identidade de uma sociedade não seja perdida. Os mecanismos de degradação ainda não são totalmente compreendidos, mas fatores como a composição mineralógica, coesão e propriedades físicas do substrato rochoso podem ser cruciais para o avanço ou para o retardo de determinados agentes destrutivos (FERRI, et al., 2012). Alguns destes agentes alteradores são a queima de combustíveis fósseis por motores, emissão de gases

poluentes industriais, cristalização de sais no interior e na superfície das rochas, expansões térmicas individuais de cada mineral, entre outros (ÖZTÜRK, 1992).

A água age de diversos modos para que tais alterações ocorram. Ela pode promover a dissolução de sais solúveis do interior da rocha, gerando eflorescências em suas superfícies, principalmente em ambientes com alto grau de umidade atmosférica. A água também reage com gases nitrosos e sulfurosos, os transformando em ácidos que são precipitados na superfície das rochas; em mármore o problema é agravado devido à sua composição carbonática, reduzindo sua integridade de forma mais proeminente e até efetuando alterações na coloração dos mesmos (FERRI et al., 2012). A propagação microbiológica, altamente necessitada da umidade para se desenvolver, também pode alterar a coloração de rochas e reduzir sua coesão estrutural (ÖZTÜRK, 1992).

É de extrema importância que os profissionais de conservação e restauro possam realizar seus procedimentos por meio de análises prévias, que auxiliem no entendimento da composição da rocha a ser tratada, na composição dos produtos pré-selecionados para aplicação e nos mecanismos de alteração e degradação destas rochas, de modo a otimizar o desempenho de suas funções e garantir a importância tanto de suas profissões quanto dos monumentos pétreos a serem conservados para futuros estudos artísticos e históricos.

Neste estudo, foram realizados ensaios com amostras minerais e agentes de proteção com função hidrorrepelente para melhor entender a interação entre cada produto e a superfície mineral durante o processo de aplicação, visando auxiliar estudos posteriores de conservação e restauro.

2. AMOSTRAS UTILIZADAS

Neste estudo, foram utilizadas cinco amostras minerais: quartzo, feldspato alcalino (microclínio) e mica (muscovita), representativas de rochas graníticas; calcita, representativa de rochas calcíticas; e talco, representativo de pedra-sabão. Além disso, foram usados três agentes de proteção, que serão aqui denominados A, B e C, todos emulsões aquosas e com função hidrorrepelente.

3. MÉTODOS

3.1 Preparo das amostras

As amostras minerais foram submetidas a etapas de beneficiamento - cominuição, homogeneização, classificação e quarteamento, para a devida separação da fração granulométrica

mais adequada para as análises, garantindo a representatividade do todo amostrado. A fração selecionada para as análises foi o intervalo entre 0,354 mm e 0,250 mm.

3.2 Caracterizações química e mineralógica dos minerais

Todos os minerais foram caracterizados química e mineralogicamente por meio de análises por fluorescência de Raios X (FRX) e difração de Raios X (DRX), respectivamente, pela Coordenação de Análises Químicas (COAM/CETEM). A partir destas análises, é possível obter os teores químicos dos elementos constituintes de cada mineral (em formato de óxidos) e identificar estruturas cristalinas características de cada mineral.

3.3 Análise da adsorção dos protetivos pelos minerais por espectrofotometria

A interação entre os agentes de proteção e os minerais foi avaliada primeiramente por análises espectrofotométricas da adsorção destes protetivos na superfície de cada mineral. Para este procedimento, foram preparadas soluções aquosas dos protetivos utilizando água Milli-Q como solvente, com concentrações que variaram entre 0,5% v/v e 5,0% v/v. Em tubos Falcon, foram adicionados 10 mL de cada solução com 0,5 g de mineral, e todos os tubos foram agitados durante 6 horas, centrifugados a 2500 rpm por 20 minutos e os sobrenadantes resultantes foram analisados em um equipamento de espectrofotometria da marca *LaMotte*, em comprimentos de onda específicos para cada agente de proteção – 775 nm para o protetivo A, 950 nm para o B e 480 nm para o C.

3.4 Determinação do ângulo de contato estático entre minerais e protetivos

Em um goniômetro da marca *DataPhysics*, modelo OCA15EC, foram executados os experimentos de interação entre agentes de proteção e superfícies minerais por meio de determinação do ângulo de contato estático pelo método da gota séssil. Foram avaliados os três agentes de proteção, além de soluções de água Milli-Q em diferentes pH entre 3,0 e 11, a fim de verificar uma possível alteração de ângulo por meio da alteração de pH. Os minerais foram moldados com suas superfícies polidas em resina epoxídica, e neles foram depositadas três gotas de 1 uL de cada solução para avaliar os ângulos de contato formados. A muscovita foi analisada em duas faces distintas, [001] e [110].

3.5 Determinação das tensões superficiais dos protetivos

Ainda de posse do goniômetro, foi possível medir a tensão superficial de cada uma das soluções supracitadas pelo método da gota pendente em ar. A tensão superficial é um efeito proveniente da coesão entre moléculas de modo a fazer com que elas se comportem como uma membrana viscoelástica na barreira entre dois líquidos de densidades distintas ou entre ar e líquido. Pode se relacionar à molhabilidade do líquido analisado, uma vez que líquidos com menores tensões superficiais tendem a possuir maior molhabilidade.

3.6 Caracterização dos agentes de proteção por espectroscopia no infravermelho

Os três protetivos foram caracterizados em um equipamento da marca Bomem FTIR, série MB100, onde as amostras foram preparadas utilizando 1 mg de amostra e 99 mg de brometo de potássio de grau espectroscópico. A análise foi realizada na região entre 4000 cm^{-1} e 400 cm^{-1} . A partir desta análise, é possível obter espectros característicos que auxiliam na determinação de ligações entre elementos ou entre grupos funcionais, identificando moléculas presentes na amostra a partir da intensidade dos picos ou bandas relativas a essas ligações.

4. RESULTADOS

Os teores químicos e difratogramas obtidos por FRX e DRX confirmaram a integridade dos minerais amostrados. O quartzo apresentou altos valores de sílica (98,5%); o feldspato alcalino apresentou 9,3% de óxido de potássio e 4,8% de óxido de sódio; 36,1% de óxido de alumínio para a mica, 32,4% de óxido de magnésio para o talco e 52,4% de óxido de cálcio para a calcita (onde outros 41,9% foram perdidos por calcinação, ocorrência característica deste tipo de mineral).

Os gráficos construídos a partir dos valores de adsorção dos agentes de proteção por parte dos minerais estão exibidos nas Figuras 1, 2 e 3. Foi possível perceber a relação crescente entre adsorção e concentração de protetivo em solução, onde soluções mais concentradas apresentaram maiores adsorções pelos minerais. Também foi possível perceber que o protetivo B apresentou valores mais elevados de adsorção, seguido pelos outros dois agentes de proteção (que apresentaram valores de adsorção virtualmente iguais). Com relação aos minerais, é notável que os minerais mica e calcita adsorveram os três agentes de proteção de forma mais eficiente que os outros minerais. Os experimentos seguintes conseguem se correlacionar com os resultados parciais encontrados para estas análises.

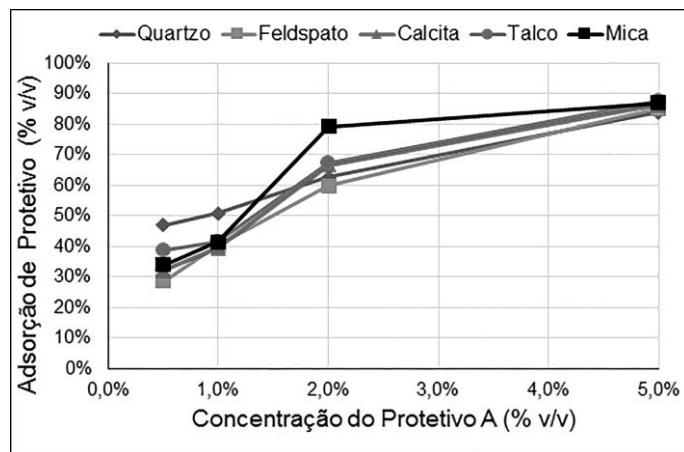


Figura 1 – Adsorção do agente de proteção A pelos minerais (elaboração dos autores).

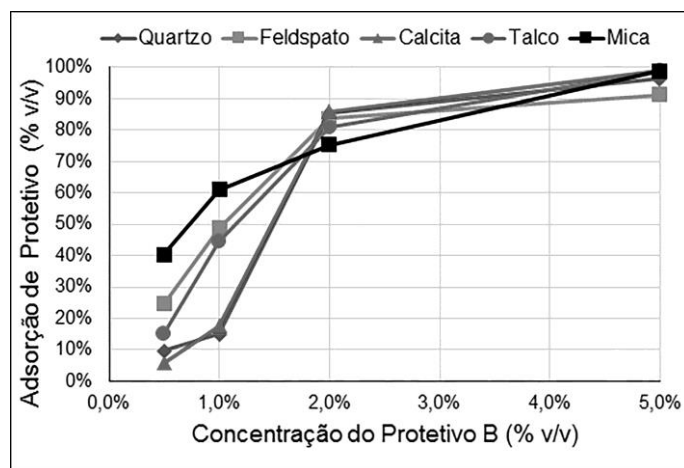


Figura 2 – Adsorção do agente de proteção B pelos minerais (elaboração dos autores).

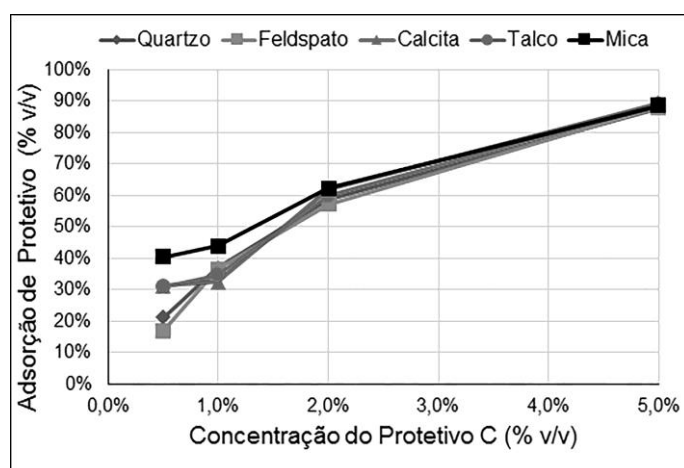


Figura 3 – Adsorção do agente de proteção C pelos minerais (elaboração dos autores).

A mica, do grupo dos filossilicatos, apresenta uma estrutura lamelar com substituições de átomos de silício por átomos distintos, como alumínio e ferro, que são mais polarizantes e elevam sua

interação com os agentes de proteção, como é possível visualizar. Já a calcita, composta majoritariamente por íons carbonato, possui diversos oxigênios contendo dois pares de elétrons livres em cada, que também garantem uma maior eficácia na interação eletrostática com os protetivos estudados.

Os ângulos de contato obtidos para cada agente de proteção, bem como soluções aquosas, em cada superfície mineral podem ser visualizados na Figura 4. A variação de pH da água Milli-Q não foi suficientemente relevante para que alterasse o ângulo de contato, e por isso os valores foram unificados executando-se uma média e dispondo-os em uma única barra gráfica. A água apenas flui por uma superfície se a força de adesão entre ela e o sólido em questão for maior que a força de coesão da própria água (SAMPAIO, et al., 2007). Ângulos de contato muito inferiores a 90° definem o sólido como hidrofílico; ângulos de contato próximos ou superiores a 90° , no entanto, o definem como hidrofóbico (ANDERSON, 1986).

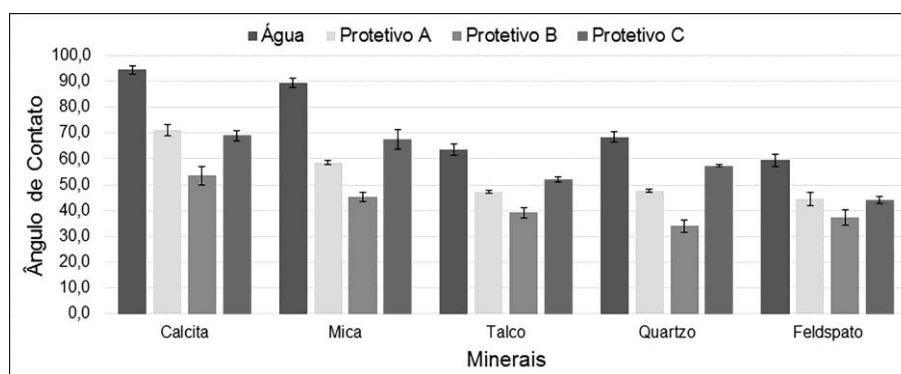


Figura 4 – Ângulos de contato obtidos para cada protetivo em cada mineral (elaboração dos autores).

As micas apresentam uma estrutura pseudo-hexagonal, com faces laterais [110] e [010] idênticas entre si. A face superior [001] apresenta uma homogeneidade tal que seu caráter é hidrofílico devido à presença de íons com alta tendência a realizar ligações de hidrogênio com a água. Por outro lado, as faces laterais não possuem tal estrutura, apresentando diversos íons de tamanhos distintos e cargas opostas, que impedem uma interação relevante com a água. Assim, as faces [110] e [010] possuem caráter hidrofóbico. A determinação dos ângulos de contato confirma estas propriedades, onde foram obtidos ângulos próximos a 0° para a face hidrofílica e ângulos próximos a 90° em faces hidrofóbicas. Assim, para que pudessem ser obtidos valores distintos durante as análises, que permitissem a comparação com outros minerais, a barra gráfica representada é apenas da face hidrofóbica. A mica, assim como a calcita, apresentou tendências à

um caráter mais hidrofóbico com a água que os outros minerais. A análise com os agentes de proteção apresentou a mesma tendência para A, B e C, com maiores ângulos para os dois minerais, mas sempre com valores inferiores aos da água. Aqui, há uma quebra de senso comum: possuindo funções hidrorrepelentes, era esperado que todos os protetivos aumentassem os ângulos de contato. Porém, as análises foram realizadas ainda em emulsão aquosa, ou seja, os protetivos ainda possuíam água em suas composições para a dispersão dos agentes poliméricos, e como não havia sido iniciada a etapa de cura dos mesmos também não havia tido a evaporação desta água. Consequentemente, não havia sido iniciada a formação da fina camada polimérica hidrofóbica que garante tal propriedade às superfícies e, deste modo, a interpretação a ser seguida é contrária à esperada: um menor ângulo de contato está diretamente relacionado à uma maior molhabilidade, um maior espalhamento do líquido pela superfície. Assim, protetivos com menores ângulos se espalham melhor e auxiliam a etapa de aplicação na superfície, homogeneizando a camada a ser formada futuramente e facilitando a interação com o mineral. Portanto, o agente de proteção B apresentou melhores resultados, como visto também na análise de adsorção, seguido dos protetivos A e C, respectivamente.

A tensão superficial determinada para cada agente de proteção corrobora os resultados obtidos nas análises anteriores. A água Milli-Q apresentou uma média de valores para a tensão superficial de $74,28 \text{ mN.m}^{-1}$, próxima aos encontrados na literatura, como o valor de $72,75 \text{ mN.m}^{-1}$ (VARGAFTIK, et al., 1983), enquanto a tensão para a água Milli-Q em pH 7,0 foi de $73,47 \text{ mN.m}^{-1}$. O protetivo B apresentou a menor tensão superficial entre os três, de $34,35 \text{ mN.m}^{-1}$, seguido do A e do C, com tensões de $41,19 \text{ mN.m}^{-1}$ e $42,90 \text{ mN.m}^{-1}$, respectivamente. Os valores estão de acordo com os ângulos de contato obtidos, demonstrando que o agente de proteção B apresenta maior molhabilidade e maior espalhamento que os outros, e o comportamento geral também se mantém para os demais protetivos analisados.

A partir dos espectros obtidos para os três protetivos por análise espectroscópica na região do infravermelho, foi possível deduzir estruturas moleculares que os representassem. Os protetivos A e B apresentaram bandas que sugeriram ligações C-H e C-O em suas estruturas, com algumas distinções que permitiram diferenciar as estruturas hipotéticas de ambos. O protetivo C apresentou bandas indicativas de ligações Si-O-Si e entre o elemento silício e grupamentos

orgânicos radicalares. A Figura 5 apresentam as estruturas idealizadas, bem como a interação sugerida para cada uma com superfícies rochosas quaisquer.

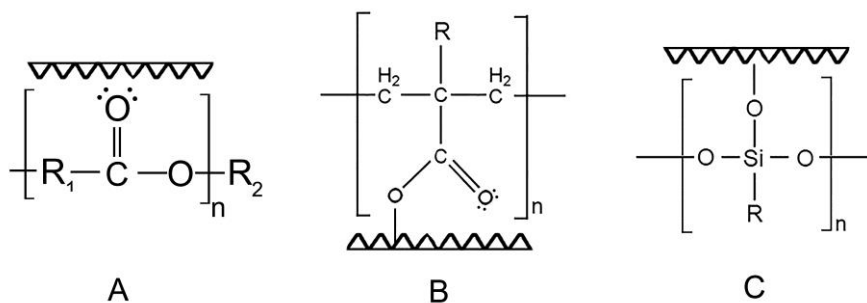


Figura 5 – Estruturas hipotéticas representativas de cada protetivo interagindo com superfícies rochosas quaisquer (elaboração dos autores).

Os protetivos A e B, apresentando cadeias de poliésteres, interagem com a superfície a partir de seus pares de elétrons presentes no oxigênio separado da cadeia principal. O protetivo B, no entanto, possui sua função orgânica situada em uma posição deslocada, que é mais favorável para interações que a presente no protetivo A, justificando assim sua maior eficácia durante as análises. O protetivo C, por sua vez, apresentou novamente o oxigênio como agente de interação, mas este sofre impedimento estérico por parte dos demais oxigênios presentes na cadeia principal, causando certa instabilidade na sua interação e reduzindo assim seu desempenho quando comparado com o protetivo B.

5. CONCLUSÕES

Os resultados encontrados demonstraram que rochas com teores mais elevados de micas e calcita tendem a obter melhores resultados para os agentes de proteção estudados. O protetivo B apresentou os melhores valores de adsorção, menores ângulos de contato e menor tensão superficial, confirmando seu desempenho superior aos dois outros produtos. Deste modo, é possível perceber que estudos preliminares, tanto dos agentes de proteção a serem utilizados quando da rocha constituinte do monumento a ser conservado e restaurado, é de vital importância para que o tratamento seja feito da forma mais adequada possível, resguardando assim a beleza natural, a história e a cultura de um povo.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CETEM pela infraestrutura, aos colaboradores da CATE e Laboratório de Rochas Ornamentais, ao *Grupo de Fenômenos Interfaciais (GRIFIT - PEQ/COPPE)* e ao CNPq pelo apoio financeiro.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, W. G. Wettability literature survey – Part 2: wettability measurement. **Journal of Petroleum Technology**, Vol 38 (1986), p. 1246-1262

FERRI, L.; LOTTICI, P. P.; LORENZI, A.; MONTERENO, A.; SAVIOLI-MARIANI, E. Study of sílica nanoparticles – polysiloxane hydrophobic treatments for stone-based monument protection. **Journal of Cultural Heritage**, Elsevier Masson, França, Vol 12 (2011), p. 356-363.

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. **Tratamento de minérios**. 5a edição, Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2010. 965 p.

ÖZTÜRK, I. **Alkoxysilanes consolidation of stone and earthen building materials**. Tese (Mestrado em Ciência) – Programa de Graduação em Preservação Histórica, Universidade da Pensilvânia, Pensilvânia, 1992.

SAMPAIO, J. A., FRANÇA, S. C. A., BRAGA, P. F. A. **Tratamento de minérios: práticas laboratoriais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2007. 570 p.

VARGAFTIK, N. B.; VOLKOV, B. N.; VOLJAK, L. D. International tables of the surface tension of water. **The Journal of Physical Chemistry**, Vol 12 (1983) p. 817-820

RISCOS DE ACIDENTES DE TRABALHO ASSOCIADOS AOS MÉTODOS DE LAVRA NO SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Wagner A. Nascimento¹, Yolacir C. S. Santos²

^{1,2} Especialistas em Recursos Minerais – Engenheiros de Minas – Departamento Nacional de Produção Mineral - Av. César Hilal, 410, Bento Ferreira, 29050-664 – Vitória - ES (Brasil)

wagner.nascimento@dnpm.gov.br;

RESUMO

A utilização das rochas ornamentais remonta aos tempos pré-históricos na confecção de utensílios domésticos, de caça, guerra, objetos sacros, dentre outros. Com o passar dos anos, a sua beleza, traduzida através das diversas variedades de rochas, as quais, com as suas características mineralógicas particularidades, se tornaram objeto valioso, extremamente utilizado nas construções, esculturas e ornamentações, tornando-se símbolos de status, poder e riqueza. Além do Egito, com as suas obras faraônicas, os gregos e romanos são exemplos fidedignos dessa afirmação. Dos tempos pretéritos até os atuais, assim como se percebe uma grande evolução tanto na descoberta de novas tipologias de rochas, com o advento da tecnologia, as técnicas de extração e beneficiamento, colocaram este importante setor da economia no contexto das grandes empresas do setor minerário. O aprimoramento dessas técnicas, visavam primordialmente, uma melhor recuperação na exploração das rochas, aumentando substancialmente a produção, reduzindo concomitantemente a geração de estéril. Contudo, à medida que o setor ganhava fôlego, não somente no mercado interno, mas sobretudo no mercado externo, o setor de rochas ornamentais passou a contribuir, só que desta vez de forma negativa às estatísticas, com o aumento no número de acidentes de trabalho. De posse dessa triste experiência, os órgãos reguladores e fiscalizadores, perceberam a necessidade de imediata intervenção nesta parcela do setor de mineração com a elaboração de normas e intensificação de campanhas de fiscalização para verificação do real cumprimento das mesmas. Portanto, como forma de contribuição a este objetivo principal e de suma importância, uma vez tratar-se de preservação da vida, este trabalho relata as atividades de implantação do empreendimento, iniciação das atividades com o decapeamento, perfuração, corte, desmembramento,

carregamento até o transporte final dos blocos. Para cada fase citada, dos diferentes métodos de lavra, extração em matacões, lavra por desabamento, lavra seletiva, por bancadas e subterrânea, foram associados os riscos inerentes a cada uma, apresentando para tanto as NRMs (Normas Reguladoras da Mineração), criadas pelo DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral) e as NR 22 (Norma Regulamentadora 22) criada pelo MTE (Ministério do Trabalho e Emprego) relacionadas aos respectivos riscos. Com isso, pretende-se criar um manual de boas práticas, o qual deverá, conjuntamente com as principais organizações do Setor, Sindicatos, Fundacentro, Centrorochas, DNPM, MTE, dentre outros a promoverem expressiva divulgação tanto ao empregador como aos seus colaboradores. A de se ressaltar, que as iniciativas punitivas realizadas pelos órgãos fiscalizadores, apesar de necessárias, não vêm surtindo o resultado esperado, uma vez que os números de acidentes com morte no setor de rochas ornamentais, continuam crescendo. Portanto, conclui-se que a melhor maneira de se obter um resultado no cotidiano é através do conhecimento, treinamento e conscientização. Outro fator de grande importância e que poderia contribuir com a redução e consecutiva erradicação dos acidentes de trabalho no laboro das rochas ornamentais é o incentivo àquelas empresas que apresentam boas práticas. Exemplo disso foi a criação do selo verde, onde o próprio mercado obriga às fornecedoras a respeitarem o meio ambiente. Tal exemplo poderia ser estendido às empresas do setor de rochas ornamentais, onde, aquelas que estiverem conformes com as boas práticas na extração e beneficiamento das rochas, obteriam um dado selo, o qual com o passar dos anos serviria como ponto de partida para escolha do próprio mercado. Por fim, o presente trabalho apresenta diversas alternativas com metodologias de extração distintas, buscando não somente a segurança na execução das atividades, mas também o melhor aproveitamento, uma vez ser essencial nos dias atuais a preocupação com um desenvolvimento sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: rochas ornamentais, acidentes de trabalho

ABSTRACT

The use of ornamental stones dating back to prehistoric times in the manufacture of household items, hunting, war, sacred objects, among others. Over the years, its beauty, translated through the various varieties of rocks, which, with its mineralogical characteristics, have become valuable object, greatly used in buildings, sculptures and ornamentation, becoming status symbols, power

and wealth. Besides Egypt, with its pharaonic works, the Greeks and Romans are reliable examples of this statement. Of past times to the present, as can be seen a great evolution both in discovering new rock types, with the advent of technology, extraction techniques and processing, have put this important sector of the economy in the context of large companies in the mining sector. The improvement of these techniques, aimed primarily a better recovery in the exploitation of the rocks substantially increasing production, while reducing the generation of sterile. However, as the sector gained breath, not only in domestic market but especially in foreign markets, the ornamental stone sector has to contribute, only this time in a negative way to the statistics, the increase in the number of workplace accidents. Armed with this sad experience, regulators and supervisory bodies, realized the need for immediate intervention in this portion of the mining sector with the development of standards and intensifying inspection campaigns to verify the actual compliance therewith. Therefore, as a contribution to this main objective and of paramount importance, since treat yourself to preserve life, this paper reports the the project implementation activities, initiation of activities with the stripping, drilling, cutting, dismemberment, loading up the end of the transport blocks. For each cited phase, the different methods of mining, extraction of boulders, mining for collapse, selective mining for countertops and underground, the risks inherent in each were associated, presenting to both NRMs (Normas Reguladoras da Mineração), created by the DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineração) and NR 22 (Norma Reguladora 22) created by the MTE (Ministério do Trabalho e Emprego) related to the associated risks. Thus, we intend to create a manual of good practices, which should, together with the major industry organizations, unions, Fundacentro, Centrorochas, DNPM, MTE, among others to promote significant disclosure to both the employer and its employees. A to point out that punitive initiatives taken by the inspectors, though necessary, are not producing the desired result, since the death in accident numbers in the ornamental stone sector, continue to grow. Therefore, it is concluded that the best way to get a result in daily life is through knowledge, training and awareness. Another factor of great importance and could contribute to the reduction and eradication of consecutive work accidents in the ornamental rocks Laboro is encouraging those companies with good practice. One example was the creation of green label, where the market itself forces the suppliers to respect the environment. Such an example could be extended to companies in the stone sector, where those that are in accordance with best practices in the extraction and processing of rocks, would obtain a given label, which over the years would serve as a starting point for choosing the market itself. Finally, this paper

presents various alternatives with different extraction methods, not only seeking security in execution of the activities, but also the best use, since it is essential nowadays the concern for sustainable development.

KEYWORDS: será atrelado às palavras chaves.

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), rocha ornamental pode ser definida como substância rochosa natural, que submetida a diferentes graus de modelamento ou beneficiamento, pode ser utilizada como uma função estética qualquer. Os principais tipos de rochas ornamentais são granitos, quartzitos, ardósias, mármore, travertinos, arenitos, metaconglomerados, esteatitos (pedra-sabão), dentre outros, e suas aplicações são as mais diversas, como, por exemplo, em esculturas, tampos e pés de mesa, balcões, lápides e arte funerária em geral, revestimentos internos e externos de paredes, pisos, colunas, pilares, soleiras, telhados (FEAM, 2015).

No ano de 2013, o setor de rocha ornamental no Brasil foi responsável por uma produção de 10,5 milhões de toneladas (Mt), representando 7,5% da produção mundial, colocando o Brasil no 4º lugar do ranking mundial, atrás de China, Índia e Turquia nesta ordem (DNPM, 2014). De acordo com dados da ABRIROCHAS no ano de 2015 foram exportados 2,32 Mt. de Rochas Ornamentais gerando uma receita de U\$ 1,2 bilhão aos cofres brasileiros. Segundo Montani (2014), o Brasil possui capacidade de lavra e beneficiamento para 1200 tipos de rochas, possuindo para tal 1.500 frentes de lavra, gerando renda para 20 mil trabalhadores, sem contar todacadeia produtiva, que representa mais 35 mil postos agregados no beneficiamento primário, 60 mil nas marmorarias e 10 mil nos segmentos de tecnologia e serviços.

Segundo dados do Ministério da Previdência Social, no período de 2006 a 2013, o Setor de Extração de Areia, Pedra e Argila (CNAE 8.10.0) foi responsável por 8.834 acidentes típicos com abertura de Comunicação de Acidente de Trabalho (CAT), o que corresponde a 32,11% do total do setor mineral brasileiro¹ no período. Em termos de acidentes liquidados, o Setor de Extração de Areia, Pedra e Argila foi responsável, no período supramencionado, por 191 mortes, correspondendo a 54,41% do total verificado na indústria mineral brasileira.

¹ Não incluso o setor de Petróleo e Gás e Serviços.

2. PRINCIPAIS METODOLOGIAS DE LAVRA APLICADA NA EXTRAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Para Vidal et. al (2014) a lavra de rochas ornamentais consiste em uma atividade que objetiva a remoção de material útil ou economicamente aproveitável dos maciços rochosos e/ou matacões, sendo o produto desta, blocos de arestas aproximadamente regulamentares, de dimensões variáveis, visando o ulterior aproveitamento nas etapas de beneficiamento.

As principais metodologias de lavra de rochas ornamentais estão diretamente vinculadas à forma como a rocha encontra-se disposta geográfica e morfológicamente, levando-se ainda em consideração a ocorrência dos chamados defeitos (veios e fraturas), os quais desqualificam as rochas no mercado consumidor. Resumidamente, podemos ser classificadas conforme a figura a seguir:

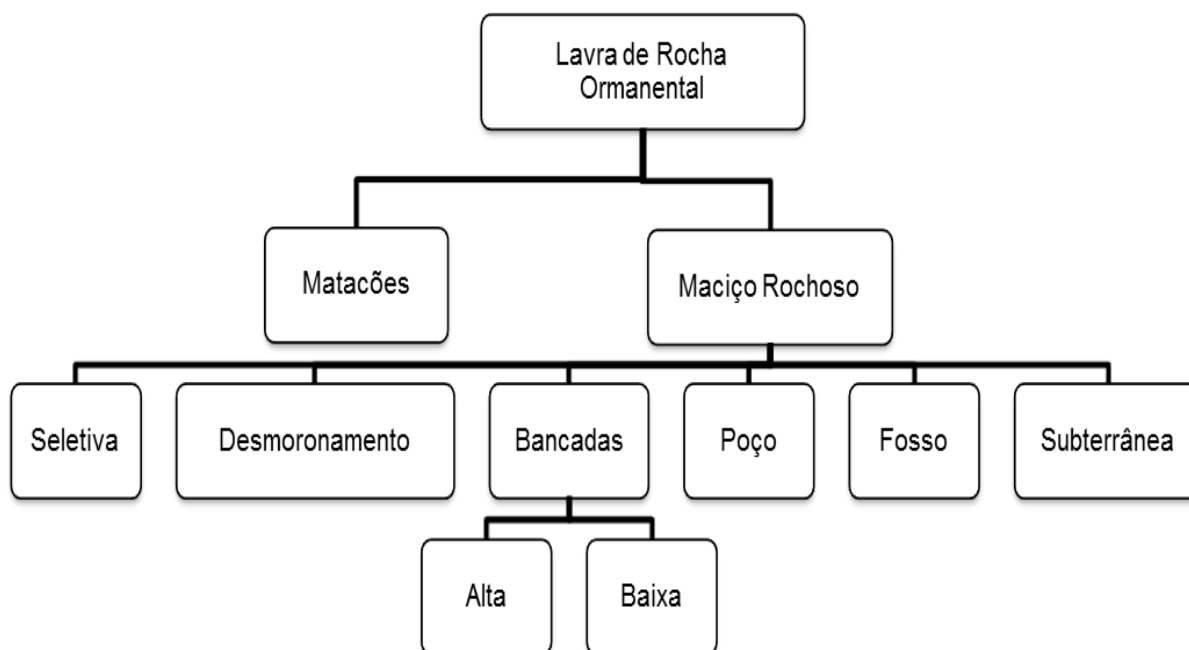


Figura 1- Esquema simplificado das metodologias de lavra de rochas ornamentais.

Fonte: Adaptado de REGADAS, 2006.

Quanto às operações unitárias, Vidal et. al (2014), cita como principais às seguintes: decapeamento do maciço rochoso/matacão (liberação do matacão), desmonte primário (separação do "filão" do maciço rochoso/matacão), tombamento do filão (prancha); desmembramento da prancha em blocos e movimentação de blocos.

3. RISCOS ASSOCIADOS ÀS PRINCIPAIS METODOLOGIAS DE LAVRA

Segundo a Norma BS OHSAS 18.001:2007, risco pode ser definido como "a combinação da probabilidade de ocorrência de um evento ou exposição (ões) perigosa (s) com a gravidade da lesão ou doença que pode ser ocasionada pelo evento ou exposição (ões)". Nos termos da Norma Reguladora nº 9 (NR 9) do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), riscos ambientais são definidos como "agentes físicos, químicos e biológicos existentes nos ambientes de trabalho que, em função de sua natureza, concentração ou intensidade e tempo de exposição, são capazes de causar danos à saúde do trabalhador". Na tabela 1 encontra-se descrito a definição dos agentes supramencionados, segundo a NR-9.

Tabela 1- Definição dos agentes ambientais (NR-9)

Agentes Físicos	Diversas formas de energia a que possam estar expostos os trabalhadores, tais como: ruído, vibrações, pressões anormais, temperaturas extremas, radiações ionizantes, radiações ionizantes, bem como o infra-som e o ultra-som.
Agentes Químicos	Substâncias, compostos ou produtos que possam penetrar no organismo pela via respiratória, nas formas de poeiras, fumos, névoas, neblinas, gases ou vapores, ou que, pela natureza da atividade de exposição, possam ter contato ou ser absorvido pelo organismo através da pele ou por ingestão
Agentes Biológicos	Bactérias, fungos, bacilos, parasitas, protozoários, vírus, entre outros.

Além dos agentes ambientais descritos na NR 9, Ayres & Correa (2011) consideram ainda, os agentes ergonômicos e agentes de acidentes (mecânicos), sendo o primeiro definido como condições de uma má adequação do homem ao ambiente/posto de trabalho que pode ocasionar distúrbios psicológicos ou fisiológicos, bem como redução da produtividade e na segurança do trabalho. Agentes de acidentes (mecânicos) podem ser definidos como fatores que colocam em perigo o trabalhador ou afetam sua integridade física ou moral.

Ante ao acima exposto, segue descrito na Tabela 2 o levantamento dos principais agentes de riscos ambientais identificados para cada uma das operações unitárias relativas às principais metodologias de lavra utilizadas na extração de Rochas Ornamentais, bem como as principais ações preventivas a serem adotadas, nos termos das legislações existentes (Normas Reguladoras da Mineração- DNPM e Normas Regulamentadoras-MTE).

Tabela 2- Agentes ambientais e ações preventivas concernente as principais operações unitárias de lavra

OPERAÇÕES UNITÁRIAS DE LAVRA	RISCOS ASSOCIADOS	AÇÕES PREVENTIVAS
<p>1. Liberação de Matacões</p> <p><u>Lavra de Matacões</u></p>	<p><u>Agente Físico:</u> Ruído.</p> <p><u>Agente Químico:</u> Poeira de Sílica.</p> <p><u>Agente de Acidentes:</u> Soterramento de equipamentos/ pessoas; atropelamento de pessoas.</p>	<p>i)- Treinamento de todos os operadores de equipamentos de grande porte - NR 22.35.1.</p> <p>ii)- Análise prévia de risco associada à estabilidade do solo/rochas ao entorno do matacão a ser explotado- alínea "a" da NR 22.14.2.</p> <p>iii)- Isolamento da área de risco, (movimentação de máquinas e equipamentos), bem como dos taludes escavados, impedindo o trânsito ou permanência de pessoas alheias às atividades- alínea "a" da NR 22.11.19.</p> <p>iv)- Findadas as atividades, realização de vistoria por profissional legalmente habilitado, o qual deverá emitir laudo de estabilidade dos taludes para que a área seja novamente liberada para trânsito de pessoas e desenvolvimento de novas atividades- NR 22.14.4.2.1</p> <p>vi)- Utilização de EPI's adequados por parte dos trabalhadores (proteção contra poeira, óculos e protetores auriculares)- alínea "j" da NR 22.3.7.</p>
<p>2. Perfuração de rochas (Desmonte Primário e secundários)</p> <p><u>Lavra de Matacões e Lavra em Maciço Rochoso</u></p>	<p><u>Agentes Físico:</u> Ruído, Vibração.</p> <p><u>Agentes Químico:</u> Poeira de Sílica.</p> <p><u>Agentes Ergonômicos:</u> Postura inadequadas dos operadores de marteletes.</p> <p><u>Agentes de Acidentes:</u> Esmagamento de membros superiores e inferiores, queda de nível.</p>	<p>i)- Utilização de EPI's adequados por parte dos trabalhadores (proteção contra poeira, óculos, protetores auriculares e luvas)- alínea "j" da NR 22.3.7.</p> <p>ii)- Utilização de presilhas nas conexões das mangueiras de ar comprimido para evitar o ricocheteamento das mesmas- alínea "b" da NR 22.11.15.</p> <p>iii)- Utilização de cinto de segurança devidamente ancorados em alturas superiores a 2 metros- NR 35.5.3.2.</p> <p>iv)- Implementação de guarda-corpos na crista dos taludes/matacões.</p> <p>v)- Utilização de tecnologia que dispensa a utilização de marteletes manuais.</p> <p>vi)- Utilização de umidificação no processo de perfuração de rochas - NR 22.17.3.1.</p> <p>vii)- Propiciar condições ergonômicas apropriadas NR 17.</p>

Tabela 2- Agentes ambientais e ações preventivas concernente as principais operações unitárias de lavra

(continuação)

<p>3. Corte do "Filão" em relação ao Maciço Rochoso/Matacão (Desmonte primário e secundário)</p> <p>Corte cíclico (utilização de cunha, argamassa, explosivo) ou</p> <p>Corte contínuo (fio diamantado)</p> <p><u>Lavra de Matacões e Lavra em Maciço Rochoso</u></p>	<p><u>Agentes Físicos:</u> Ruído, Vibração (cunha).</p> <p><u>Agentes Químicos:</u> Poeira de Sílica, contaminação de elementos nocivos da argamassa expansiva (uso de argamassa) e elementos nocivos dos explosivos (uso de explosivos).</p> <p><u>Agente Ergonômico:</u> Postura inadequadas dos trabalhadores.</p> <p><u>Agentes de Acidentes:</u> Esmagamento de membros superiores e inferiores, queda de nível; explosões e rompimento do fio diamantado</p>	<p>i)- Utilização de EPI's adequados por parte dos trabalhadores (proteção contra poeira, óculos, protetores auriculares e luvas)- alínea "j" da NR 22.3.7.</p> <p>ii)- Utilização de cinto de devidamente ancorados em alturas superiores a 2 metros- NR 35.5.3.2.</p> <p>iii)- Implementação de guarda-corpos na crista dos taludes/matacões.</p> <p>iv)- Adoção todas as medidas e preceitos estabelecidos no R-105 da Diretoria de Fiscalização de Produtos Controlados ligada ao Exército Brasileiro, além do que se encontra preconizado nas Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho e Emprego NR 22.21 e seus subitens.</p> <p>v)- Isolamento da área de risco no entorno da máquina de fio, estando o operador (fiorista) fora desta área, operando-a através de painel de controle- NR 22.11.9.</p>
<p>4. Tombamento dos "filões".</p> <p><u>Lavra de Matacões e Lavra em Maciço Rochoso</u></p>	<p><u>Agente Físico:</u> Ruído.</p> <p><u>Agente Químico:</u> Poeira de Sílica;</p> <p><u>Agentes de Acidentes:</u> queda de nível e tombamento da prancha (filão derrubado) sobre trabalhadores.</p>	<p>i)- Utilização de EPI's adequados por parte dos trabalhadores (proteção contra poeira, óculos, protetores auriculares e luvas)- alínea "j" da NR 22.3.7.</p> <p>ii)- Isolamento da área de risco referente ao tombamento da "prancha" após a individualização desta a em relação ao Maciço Rochoso.</p> <p>iii)- Construção da "cama" que serve de sistema de amortecimento da "prancha", antes do término da individualização da rocha, evitando desta forma o risco de tombamento durante a confecção da cama de solo.</p> <p>iv)- Utilização de cabos de aço com certificações pelos competentes órgãos ou no caso de cabos reutilizados.</p> <p>v)- Inspeções periódicas dos cabos utilizados no sistema de tombamento das pranchas;</p> <p>vi)- Utilização de cinto de devidamente ancorados em alturas superiores a 2 metros- NR 35.5.3.2.</p> <p>vii)- Implementação de guarda-corpos na crista dos taludes/matacões.</p>

Tabela 2- Agentes ambientais e ações preventivas concernente as principais operações unitárias de lavra
(continuação)

<p>5. Desmembramento das pranchas em blocos</p> <p><u>Lavra de Matacões e Lavra em Bancadas</u></p>	<p><u>Agente Físico:</u> Ruído, Vibração.</p> <p><u>Agente Químico:</u> Poeira de Sílica.</p> <p><u>Agente Ergonômicos:</u> Postura inadequadas dos operadores durante a operação de perfuração.</p> <p><u>Agente de Acidentes:</u> queda de nível e lesões nos membros superiores.</p>	<p>i)- Utilização de EPI's adequados por parte dos trabalhadores (proteção contra poeira, óculos, protetores auriculares e luvas)- alínea "j" da NR 22.3.7.</p> <p>ii)- Utilização de cinto de devidamente ancorados em alturas superiores a 2 metros- NR 35.5.3.2.</p> <p>iii)- Utilização de tecnologia que dispensa a utilização de martelletes manuais;</p> <p>iv)- Utilização de umidificação no processo de perfuração de rochas- NR 22.17.3.1.</p>
<p>6. Movimentação dos blocos de granito/mármore</p> <p><u>Lavra de Matacões e Lavra em Bancadas</u></p>	<p><u>Agente Físicos</u> Ruído.</p> <p><u>Risco Químico:</u> Poeira de Sílica.</p> <p><u>Risco de Acidentes:</u> queda de blocos sobre os trabalhadores; rompimento dos cabos de aço.</p>	<p>i)- Utilização de EPI's adequados por parte dos trabalhadores (proteção contra poeira, óculos, protetores auriculares e luvas).</p> <p>ii)- Realização de inspeções para verificação do posicionamento das polias, além de ter um livro específico para registros sob responsabilidade técnica, o qual deverá ficar à disposição dos órgãos fiscalizadores por um período mínimo de 01 (um) ano.</p> <p>iii)- Treinamento rigoroso de todos os operadores dos equipamentos de guindar objetivando o melhor conhecimento das atividades desenvolvidas, além dos riscos, formas preventivas, procedimentos, dentre outras aspectos relevantes à correta execução dos trabalhos a fim de que sejam realizados de forma eficiente e segura.</p>

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresenta as principais metodologias de extração de rochas ornamentais e os respectivos riscos de acidentes associados às mesmas. De acordo com análises dos principais acidentes vinculados a este importante Setor da economia brasileira, as causas dos acidentes estão principalmente vinculadas ao não cumprimento das Normas Regulamentadoras

elaboradas pelo Ministério do Trabalho e Emprego e das Normas Reguladoras da Mineração, vinculadas ao Departamento Nacional de Produção Mineral.

É límpido de se verificar que caso todos os procedimentos e condutas necessárias à correta condução das atividades de extração de rochas ornamentais, representadas pelas NR's e NRM's, fossem respeitadas e obedecidas, tais recortes de acidentes não estariam sendo registrados ano após ano.

Diante de todo exposto, faz-se necessária a adoção de medidas vinculadas à educação/capacitação de todo o Setor, incluindo neste rol empregadores, colaboradores, responsáveis técnicos, associações e sindicatos, com o intuito exclusivo de reduzir significativamente, os acidentes os quais a cada ano superam os registros anteriores.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRIROCHAS- Exportações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento. Disponível em < http://www.ivolution.com.br/mais/fotos/6/18/3606/Exporta_Importa_12_2015.pdf>. Acesso em 21/01/2016.

AYRES, Dennis de Oliveira; CORRÊA, José Aldo Peixoto. Manual de Prevenção de Acidentes do Trabalho. São Paulo, Editora ATLAS, 2001.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Sumário Mineral / Coordenadores Thiers Muniz Lima, Carlos Augusto Ramos Neves Brasília: DNPM, 2014.

BRASIL. MINISTÉRIO DA PREVIDÊNCIA SOCIAL. AEAT Infologo Base de Dados Históricos de Acidentes do Trabalho. Disponível em < <http://www3.dataprev.gov.br/aeat/>>.

BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. NR 9 PROGRAMA DE PREVENÇÃO DE RISCOS AMBIENTAIS. Disponível em < <http://www.mte.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR-09atualizada2014III.pdf>>.

BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. NR 22 SEGURANÇA E SAÚDE OCUPACIONAL NA MINERAÇÃO Disponível em < <http://www.mte.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR22/NR22.pdf>>.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Guia técnico ambiental da indústria de rochas ornamentais . Indústrias do Estado de Minas Gerais. --- Belo Horizonte: FEAM; FIEMG, 2015.

MONTANI, C. XXV Relatório mármore e rochas no mundo 2014 - Dossiê Brasil. ABRIROCHAS, 2014.

SOUZA, D. V.; VIDAL, F. W. H. Análise da recuperação do diamante oriundo do resíduo de teares multifio. *In*: Jornada de Iniciação Científica, 21. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013. 4 p.

VIDAL, F. W. H.; CASTRO, N. F.; DE AZEVEDO, H. C. A. Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014.

RESULTADOS PRELIMINARES DA CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO MÁRMORE DE SÃO RAFAEL - RN

*Alinne Marianne Martins Araújo*¹, *Antônio Augusto Pereira de Sousa*²,
*Glenda Aparecida Rodrigues de Oliveira*¹, *Diego Barbosa*³, *Priscila Thalita Barros de Lima*⁴

¹ Mestre em Engenharia Mineral, Departamento Engenharia de Minas, Universidade Federal de Pernambuco - Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cid. Universitária, 50670-901 Recife - PE (Brasil)

² Prof. Dr. Departamento de Química, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba – Rua Baraúnas, 351, Universitário, 58429-500 Campina Grande - PB (Brasil)

³ Doutorando em Física, Departamento de Física, Universidade de Pisa – Largo Bruno Pontecorvo, 3, Polo Didatico Fibonacci, 56127, Pisa – PI (Itália)

⁴ Graduanda em Engenharia de Minas, Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, Universidade Federal de Campina Grande, 58429-900, Campina Grande - PB (Brasil)

E-mail: priscilabarroslima@gmail.com

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar o mármore de São Rafael – RN. O material é essencialmente de granulação fina a média, estrutura sacaroidal, coloração variando de branco a acinzentado. A rocha pesquisada é classificada como carbonática metamorfizada (mármore), formada basicamente por calcita e dolomita, com alguns minerais acessórios. A coloração, em geral, varia de branca a cinza clara e/ou escura. A área pesquisada está localizada geograficamente na mesorregião do Oeste Potiguar e na microrregião Vale do Açu, mais precisamente, no Sítio Serrota, Distrito do Município de São Rafael - Rio Grande do Norte. Tendo em vista que se trata de um estudo preliminar do Mármore, o presente trabalho compreende os estudos de campo e da caracterização tecnológica. Primeiro foi realizada pesquisa de campo para reconhecimento e a identificação das estruturas geológicas de interesse econômico, bem como, avaliar os potenciais mineralógicos relacionados no plano de pesquisa, as suas características tecnológicas e os aspectos de interesse mercadológicos. Segundo, foi feita a caracterização tecnológica, de grande importância para as rochas usadas como pedra de revestimento, sendo realizada logo na etapa da

pesquisa mineral, quando já se deve ter conhecimento do tipo de aplicação. Os ensaios deste trabalho foram realizados no Laboratório de Rochas Ornamentais e Civil da UFPE. Neste trabalho será apresentado um estudo das propriedades de maior interesse para seu uso e aplicação: Análise Petrográfica, Densidade, Porosidade, Absorção d'água, Desgaste *Amsler* e Resistência à Compressão Uniaxial. Os resultados obtidos foram comparados com os valores estabelecidos pelas normas ASTM C 503.

PALAVRAS-CHAVE: mármore, análise petrográfica, densidade, porosidade.

ABSTRACT

This work aims to analyze the marble of San Rafael - RN. The material is mainly of fine to medium grained, saccharoidal structure, color ranging from white to gray. The rock studied is classified as metamorphosed carbonate (marble), consisting mainly of calcite and dolomite, with some accessory minerals. The color generally varies from white to light and/or dark gray. The material extractive area is located geographically in the West Rio Grande do Norte region, in the Açu Valley micro-region, more precisely in the site Serrota District, Municipality of San Rafael. Considering that this is a preliminary study of the referred marble, the work includes field studies and technological characterization. Firstly it was conducted field research for recognition and identification of geological structures of economic interest as well as to assess the mineralogical potential regarded to the area research plan, its technological features and aspects of marketing interests. Secondly, technological characterization was done. This stage is of great importance to the rocks used to coat stone, being held in the mining research period, when it is important to have already knowledge enough about the type of application. The trials of this study were performed in the UFPE Civil Engineering and Ornamental Stones Laboratory. This work presents a study of the properties of greatest interest for use and application of the analyzed rock: Petrographic analysis, density, porosity, water absorption, and *Amsler* wear resistance and uniaxial compression. The results obtained were compared with the values established by the ASTM C 503 standards.

KEYWORDS: marble, petrographic analysis, density, porosity.

1. INTRODUÇÃO

Devido à grande variedade e versatilidade, as rochas vêm sendo utilizadas no decorrer da história em diversas situações por engenheiros, arquitetos e artesãos, estimulando a criatividade dos profissionais ligados à área. Sabe-se que rochas são corpos sólidos naturais resultantes de um processo geológico determinado, formadas pelo agregado de um ou mais minerais, arranjos segundo as condições de temperatura e pressão existente durante a formação (FRASCÁ, 2002). Portanto, acrescentando a textura e a granulometria dos minerais, as rochas podem apresentar características estéticas e físico-mecânicas muito diferentes, o que aponta, já a princípio, a não possibilidade de uma padronização de uso. Destaca-se, então, a importância de aliar ao padrão estético, as características tecnológicas ao uso previsto. Partindo disto, é necessário determinar as características físicas e mecânicas das rochas, assim como as propriedades químicas, descrição petrográfica do material pétreo. O conhecimento destas qualidades do material rochoso facilita sua adequação ao uso. Partindo deste preceito foi feita a análise do mármore localizado em São Rafael – RN.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente foi realizada uma visita de campo para análise do maciço rochoso, em seguida foram obtidas as amostras do mármore em estudo para os devidos ensaios e análises laboratoriais que visaram o conhecimento de parâmetros físicos, mecânicos e petrográficos. Abaixo pode ser observada a amostra polida do mármore objeto de estudo (Figura 1).



Figura 1 – Chapa polida do mármore de São Rafael. (Fonte: Própria).

2.1 Localização e vias de acesso

A área está localizada na mesorregião do Oeste Potiguar e na microrregião Vale do Açu, mais precisamente, no Sítio Serrota, Zona Rural - Município de São Rafael – Rio Grande do Norte (Figura 2). Esta área está inserida na Folha Açu (SB.24-X-D-V (MI- 975), escala: 1:100.000, editada pela SUDENE, Ano 1985). A sede do município de São Rafael tem altitude média de 90 metros de altitude, em relação ao nível do mar; coordenada geográfica média de 05° 47' 56,4" de latitude Sul e 36° 55" 15,6" de longitude Oeste e distando cerca de 210 km da capital (Natal).

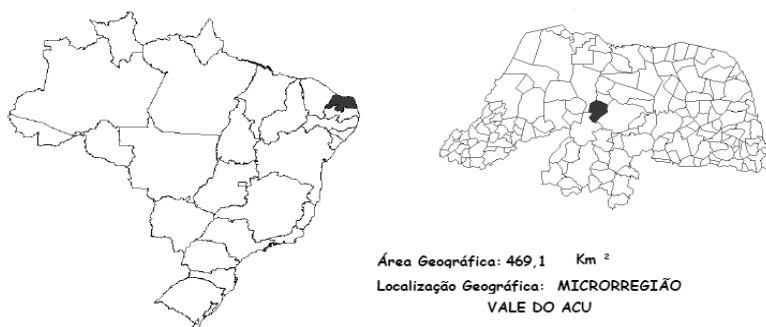


Figura 2 – Localização geográfica de São Rafael – RN. (Fonte: BELTRÃO, 2005).

2.2 Geologia Local

O ambiente geológico é representado por uma sequência metassedimentar, co-relacionada à Formação Jucurutu, constituída por rochas gnáissicas, calciossilicáticas, mica xistos, filitos, anfibolitos e por uma expressiva lente do mármore. O calcário de São Rafael apresenta granulação média a fina, bandadas, de coloração cinza-claras e esbranquiçadas, que segundo Angelim (2006) são constituídos, predominantemente, por calcita e minerais acessórios (Figura 3). Observa-se ainda, a presença de rochas calciossilicáticas intercaladas nos biotita-gnaisses ou como xenólitos nos granitóides. As feições estruturais da lente do mármore, observadas na média, escala identifica-se uma foliação tectono-metamórfica, definida por estruturas planares, com bandamento composicional, constituídos por composição mineralógica e texturas distintas, caracterizado pela alternância de bandas.



Figura 3 – Rocha metamórfica com superfície possuindo zonas oxidadas e lineações esbranquiçadas caracterizando o mármore São Rafael – RN. (Fonte: própria).

2.3 Levantamento de campo

Nos trabalhos de campo foi utilizado um GPS de navegação, conectados em sistemas de rotas ou trilhas, com tomadas de pontos a cada 50m, permitindo transpor as rotas realizadas no campo para o mapa de detalhe. Essa metodologia permitiu contornar as principais estruturas rochosas de interesse econômico, georreferenciando os contatos das estruturas aflorantes, identificadas nessa etapa da pesquisa. As amostras de rochas foram coletadas em toda a extensão da área, que apresentou uma predominância das lentes de rochas carbonáticas e calciossilicáticas. Nas lentes de calcário foram coletadas amostras para testes industriais e para fins de uso ornamentais, na forma de bloquetes nas dimensões (30x30x30)cm, posteriormente, serrados e polidos, com a finalidade de melhor identificar os aspectos estéticos, sanidade, coloração e homogeneidade, bem como, a presença de minerais constituintes da rocha capaz de provocar alterações na sua estética.

Na figura 4 pode ser observado um dos três furos de sondagens geológicas, com profundidades variando em torno de 20 metros, locados sobre um dos afloramentos das rochas calcárias, com a finalidade de obter informações da espessura ou profundidade de suas estruturas, no caso específico as lentes de mármore. Estes furos têm como objetivo identificar as possíveis alterações no padrão da rocha (granulometria, coloração, alteração, descontinuidade e fraturas), o qual foi suficiente para identificar os aspectos de interesse da pesquisa e definir as reservas de interesse econômico.



Figura 4 – Aspectos da sondagem geológica em um dos furos do mármore São Rafael – RN. (Fonte: própria).

3. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Os ensaios de caracterização tecnológica incluíram análises petrográficas, determinações da densidade aparente, absorção d'água, porosidade, resistência à compressão uniaxial simples e resistência ao desgaste abrasivo *Amsler*.

3.1 Análise petrográfica

De acordo com Abirochas (2009), a análise petrográfica constitui o único método de investigação laboratorial que possibilita a visualização detalhada dos constituintes da rocha, permitindo avaliar as implicações de suas propriedades no comportamento posterior dos produtos aplicados. A análise petrográfica foi executada através do exame macroscópico de amostra in natura, segundo ABNT NBR 15845.

3.2 Índices físicos

Foram utilizados 10 corpos de prova cúbicos, nas dimensões (5x5x5)cm da amostra de rocha. Os corpos de prova foram pesados, a seco, após 24h em estufa a 70°C. Posteriormente, foram submersos em água destilada por 24h e foram obtidos seus pesos saturados e submersos, com o auxílio de uma balança de precisão.

Posteriormente, calcularam-se suas massas específicas secas e saturadas, através de fórmulas especificadas na norma, conforme ABNT NBR 15845.

3.3 Resistência à compressão uniaxial

O ensaio de resistência à compressão determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços compressivos. Segundo Frascá (2002), sua finalidade é avaliar a resistência da rocha quando utilizada como elemento estrutural e obter um parâmetro indicativo de sua integridade física. Cinco corpos cúbicos com dimensões (7x7x7)cm, na condição seca na prensa hidráulica da marca WPM, e submetidos à ação de uma força de compressão, sob uma taxa de 300KN/min, este ensaio foi realizado conforme ABNT NBR 15845.

3.4 Resistência ao desgaste *Amsler*

Neste ensaio cinco corpos de prova com dimensões de (7x 7x 2)cm, frente ao atrito com areia quartzosa seca nº 50 com 92% de sílica (SiO₂), realizada na Máquina *Amsler*. Esse ensaio determina a resistência ao desgaste do material pétreo frente ao tráfego de pessoas e/ou veículos, Frascá (2002) segundo a norma ABNT NBR 12042 (1992).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise petrográfica

Macroscopicamente a rocha se apresenta compacta com aspecto granular, esta preferencialmente composta por mineral Calcita (CaCO₃) e dolomita (CaMg(CO₃)₂), apresentando cor esbranquiçada translúcida um branco leitoso. A distribuição segue um padrão homogêneo matriz composta por calcita microcristalina, textura granoblástica média a grossa, com um aspecto geral não alterado.

Microscopicamente, em lâmina petrográfica como pode ser observada na figura 5, a rocha se apresenta com predomínio de calcita com cristais apresentando clivagem romboédrica, de dimensões milimétricas, matriz suportada pelos grãos de calcita em uma textura granoblástica

poligonal, ocorre também presença de Epidoto; $\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$ e dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Proveniente de alteração, composição mineralógica desta rocha indica baixa resistência, baixa porosidade e baixa absorção de água, o predomínio anisotrópico sugere que se trata de uma litologia metamórfica, com um processo incipiente de alteração de baixa temperatura.

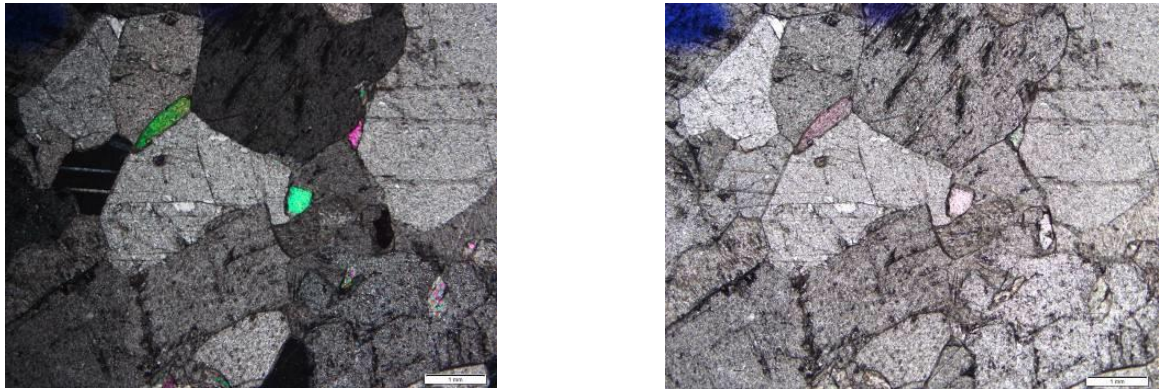


Figura 5 – Fotografia das lâminas petrográficas do mármore com nicóis cruzados e descruzados. Pode-se observar microfissuras e granulometria uniforme possuindo poucos minerais acessórios.

4.2 Índices físicos

Na tabela 1 temos os resultados da densidade aparente, porosidade e absorção d'água da amostra do mármore de São Rafael. Segundo as especificações da ASTM C 503, os valores de densidade e absorção d'água devem ser maiores que 2,789 kg/m^3 e menores que 0,2%, respectivamente. Com isso, verifica-se a adequação do referido mármore às especificações.

Tabela 11. Média dos valores referentes aos índices Físicos do Mármore.

Nome comercial	Densidade Aparente (Kg/m^3)	(%) Porosidade	(%) Absorção
Mármore	2.789	0,081	0,019

4.3 Resistência à compressão uniaxial

A tabela 2 apresenta os resultados de compressão uniaxial da amostra. Pode-se observar que o mármore apresentou um valor de compressão em torno de 58,96 MPa e encontra-se em conformidade com as especificações estabelecidas pela ASTM C 503 (> 52 MPa). Abaixo pode-se observar os valores obtidos no ensaio com cinco amostras (Tabela 2).

Tabela 22. Resultados do ensaio Resistência à compressão uniaxial do Mármore.

Mármore	Resultados (MPa)
Corpo 1	58,23
Corpo 2	62,13
Corpo 3	58,13
Corpo 4	55,19
Corpo 5	61,13
Média	58,96

4.4 Resistência ao desgaste *Amsler*

A tabela 3 apresenta os resultados de desgaste *Amsler* da amostra de mármore, de acordo com a Frazão e Farjallat (1995) os resultados devem ser inferiores a 1,0 mm. No que diz respeito ao mármore, verifica-se altos valores de desgaste, chegando a 1,170 mm, após 1000 m, então o uso deste material em ambientes de alto tráfego não é aconselhável.

Tabela 33. Valores do desgaste *Amsler* do Mármore.

Material	500m	1000m
Mármore	0,580	1,170

5. CONCLUSÕES

No tocante as características preliminares físico-mecânicas do mármore de São Rafael, bem como sua alterabilidade, estão diretamente relacionadas à sua composição mineralógica, textura e estrutura internas, que, em síntese, definem sua melhor aplicação. O mármore mostra-se favorável a uma aceitação pelo mercado tanto nacional como internacional. Possui boa qualidade estético-decorativa e suas características tecnológicas são adequadas às principais aplicações de rochas ornamentais. Através desse estudo, podemos perceber que o material apresenta microfissuras como pode ser observado na análise petrográfica e para amenizar a propagação de microfissuras no bloco deve ter cuidados no manuseio, transporte e corte. Os resultados de densidade, porosidade e absorção d'água são bastante satisfatórios quando comparados as norma ASTM C 503 e os valores sugeridos por Frazão e Farjallat. O material apresenta uma resistência à compressão uniaxial moderada, tendo um valor um pouco acima do valor indicado pela ASTM C 503. E o valor do desgaste *Amsler* está acima do indicado por Frazão e Farjallat não existindo valor na ASTM C 503 para comparação, o material é desaconselhado para lugares de muito tráfego.

Sugestões para trabalhos posteriores, realizar ensaios de alterabilidade visando uso em lugares úmidos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS. **A diversidade das rochas ornamentais: critérios de especificação e aplicação em revestimentos**; 2009 [acesso em 28 jan. 2016]. Disponível em: http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/6191/ApresentaExpoacabamentos.pdf.

ABNT NBR 12042. **Materiais Inorgânicos – Determinação do Desgaste por Abrasão**. 1992.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 503** - Standard Specification for Marble Dimension Stone.

ANGELIM, L. A. A. et al. Geologia e recursos minerais do estado do Rio Grande do Norte. Escala 1:500.000. **Texto explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais do estado do Rio Grande do Norte**. Recife: CPRM, 2006. 119 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15845: Rochas para revestimento Métodos de ensaio**. São Paulo: ABNT; 2010.

BELTRÃO, B. A.; ROCHA, D. E. G. A.; MASCARENHAS, J. C.; SOUZA, L. C. J.; PIRES, S. T. M.; CARVALHO, V. G. D. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea Estado Paraíba Diagnóstico do Município de Pedra Lavrada**. CPRM. Recife, PE. 2005. [Acesso em 05 set. 2015] Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/rgnorte/relatorios/SARA145.PDF>

FRASCÁ, M. H. B. O. Qualificação de rochas ornamentais e para revestimento de edificações: caracterização tecnológica e ensaios de alterabilidade. In: **Anais do I Simp. Brasileiro de Rochas Ornamentais e II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste**; Salvador, Brasil. Rio de Janeiro: Ed. CETEM/MCT; 2002. p.128-135.

FRAZÃO, E. B. E FARJALLAT, J. E. S.; **Características Tecnológicas das Principais Rochas Silicáticas Brasileiras usadas como pedras de Revestimento**, 1º Congresso Internacional da Pedra Natural, Lisboa, 1995, p. 47-58.

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA PARA O SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS

José A. Ribeiro Albuquerque¹, Lucas A. de Medeiros¹, Luis E. Morais Chaves¹, Alexandre José B. de Macêdo²,

Lauro C. Montefalco de Lira Santos²

¹ Graduando em Engenharia de Minas, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, UAMG

² Professor, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, UAMG

alexandrealbq@gmail.com

RESUMO

O uso de rochas ornamentais como material decorativo e de revestimento tem aumentado internamente, com taxa de até 13% entre 2012 e 2013, o que colocou o Brasil na 4ª posição do ranking mundial. A definição do material, em ambiente interno ou externo, deve obedecer a critérios técnicos, para que ele esteja compatível com aspectos estéticos e funcionais, evitando-se alterações e desgastes prematuros de suas propriedades físicas e químico-mineralógicas. Desta forma, a rocha antes de ser designada a uma função, precisa ser caracterizada e classificada, indicando assim o melhor cenário de sua utilização. Com o presente trabalho busca-se abordar os parâmetros de caracterização de materiais ornamentais, ressaltando a importância desses índices na interação entre o material e a aplicação, visando sempre a sua aplicação de forma mais adequada, sendo para isso realizada uma revisão de literatura. As classificações são feitas determinando-se parâmetros do material, através de ensaios laboratoriais, valendo o destaque para aqueles discutidos ao longo do trabalho, em função de índices e propriedades físico-químicas envolvidas: análise petrográfica, desgaste abrasivo, resistência a compressão uniaxial, dilatação térmica-linear, índices físicos, resistência a flexão em três pontos e alterabilidade. Tais ensaios são regidos por normas técnicas, que especificam os critérios que devem ser seguidas para realização dos experimentos. Essa normatização tem o objetivo de classificar a rocha com base em critérios comum a todos, padronizando os ensaios, e conseqüentemente permitir a comparação de resultados. Portanto, em mãos dos parâmetros, torna-se possível designar os melhores usos para os materiais de revestimento, levando em conta a aplicação à qual a rocha estará submetida.

PALAVRAS-CHAVE: Rochas Ornamentais, Caracterização, Normatização.

ABSTRACT

The use of natural stones as decorative and coating materials has increased internally, at a rate of 13% between the years of 2012 and 2013, which set the Brasil in the 4th position in the world ranking. The application of the material, in an internal or external environment, must follow technical criteria, so that the applied stone is compatible with the aesthetic and functional aspects, avoiding, this way, premature changes and waste/wear in their physical, chemical and mineralogical properties. Thus, the rock before be designated to a function, must be characterized and classified, indicating the favorable condition of its utilization. The present article/work seeks to address the characterization parameters of the dimensional stones, emphasizing the importance of these indices in the interaction between rock and application, always aiming their use appropriately. The realization of the research was done through literature review. The ratings are made determining the stone parameters by laboratory tests, laying emphasis on that discussed throughout the study: petrographic analysis, abrasive wear, uniaxial compressive strength, linear thermal expansion, physical indices, three-point flexural strength and alterability. These tests are regulated by technical standards, which specify the criteria that must be followed to the realization of the experiments. The regulations aim to classify the rock based on common criteria to all, allowing comparison of results. Therefore, in hands of the indices, it becomes possible to assign the best uses for the dimensional stones, considering the application to which the rock is submitted.

KEYWORDS: Natural Stones, Characterization, Standardization.

1. INTRODUÇÃO

Segundo a ABIROCHAS (Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais), em 2015 a produção brasileira de rochas ornamentais foi estimada em 9,5 milhões de toneladas, montante este correspondente a cerca de 7% da produção mundial, dos quais 2,32 milhões de toneladas deste material ($\pm 24\%$) foi direcionado para exportações, tornando o Brasil responsável por aproximadamente 5% do abastecimento mundial. O principal país importador dos produtos brasileiros, em especial as chapas, foram os Estados Unidos, possibilitando um faturamento de USD 792,2 milhões em 2015.

Ainda segundo a ABIROCHAS, o setor de rochas ornamentais é indiscutivelmente crescente, e hoje gera mais de 120 mil empregos diretos, contando com uma cadeia produtiva de cerca de 10 mil empresas, e 1500 pedreiras em atividade. A partir destas informações, que evidenciam a importância do setor, deve-se refletir se de fato essas rochas estão sendo empregadas de acordo com sua aplicabilidade natural, levando em conta as condições do ambiente e solicitação de serviços aos quais esses materiais são submetidos, isto é, observando-se como suas características estéticas e dimensionais responderão às situações a que elas estarão expostas.

O conhecimento prévio das propriedades da rocha deve anteceder o uso do material em um projeto arquitetônico ou de engenharia, pois estas informações em conjunto com a definição do meio físico ao qual a rocha será submetida, permitirão a avaliação da viabilidade ou inviabilidade de sua aplicação (MENEZES e LARIZZATTI, 2005).

2. ROCHAS ORNAMENTAIS

A norma de terminologia da ABNT-NBR 15012/2003 define rochas ornamentais como materiais rochosos naturais, que são designados a uma função estética, devido a processos de beneficiamento aplicados no material. Já uma rocha é dita de revestimento, quando após ser beneficiada e esquadrejada é empregada em obras de construção civil, sendo utilizada principalmente em pisos, fachadas e paredes. Assim sendo exclui-se de nossas observações materiais não naturais, que, por vezes, também são utilizados como peças de revestimento.

As rochas ornamentais, conforme comenta Vidal, Bessa e Lima (1999), podem ser, equivocadamente, divididas comercialmente em dois grandes grupos, os mármore e os granitos. O dito grupo dos mármore compreende as rochas carbonáticas, as quais podem ser de origem sedimentar, como os calcários, ou de origem metamórfica, destacando os mármore propriamente ditos, isto é, rochas com mais de 50% de dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) ou calcita (CaCO_3), ou seja, minerais carbonáticos. Já o grupo dos granitos comerciais, englobam rochas ígneas, como os: granitos verdadeiros, pegmatitos, basaltos, dioritos, gabros e sienitos; e algumas rochas metamórficas também estão inclusas: gnaisses, migmatitos, quartzitos, ardósias e serpentinitos.

O uso principal das rochas ornamentais é em decoração, revestimento de ambientes (internos e externos), em confecção de peças individuais (tampas, mesas, prateleiras) e materiais mortuários. Todavia, deve-se orientar a escolha do material a ser aplicado de acordo com seu destino e

condições a que estará sujeito, de forma concordante com as análises de suas características físicas, químicas e petrográficas.

3. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Previamente a escolha da rocha a ser utilizada em determinado ambiente, é de fundamental importância o conhecimento de suas propriedades, isto é, se faz necessário a caracterização tecnológica do material. As descrições das características das rochas são possíveis graças aos ensaios e testes laboratoriais, normatizados por instituições que buscam a padronização de atividades, a fim de permitir ações de comunicação, classificação e comparação entre resultados e indivíduos. Seguindo os pensamentos de Sossai (2006), é preciso qualificar e quantificar petrográfica, química, física e mecanicamente as rochas e seus aspectos individuais de qualidade para a caracterização e previsão de seu comportamento. Algumas instituições normatizadoras de ensaios reconhecidos para a classificação das rochas ornamentais no Brasil: ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), ASTM (American Society for Testing and Materials) e ISRM (International Society for Rock Mechanics). A definição das características do material nos permite saber quais condições serão suportadas pela rocha, permitindo elegê-la segundo suas propriedades. Os principais ensaios utilizados na caracterização de rochas ornamentais, associados com as normas ABNT e ASTM.

Tabela 1. Ensaios e normas técnicas para a caracterização de rochas ornamentais

ENSAIO	ABNT-NBR	ASTM
Análise Petrográfica	15845-1/2015	C-1721-15
Desgaste Abrasivo Amsler	12042/2012	C-241-15e1
Resistência à Compressão Uniaxial	15845-5/2015	D-7012-14
Coefficiente de Dilatação Térmica Linear	15845-3/2015	E-228-11
Índices Físicos	15845-2/2015	C-97-15
Resistência à Flexão em Três Pontos	15845-6/2015	C-99
Alterabilidade	15845-2/2015	-

3.1 Análise Petrográfica e Mineralógica

O ensaio é normatizado pela ABNT-NBR 15845-1/2015 e ASTM C1721, e tem como objetivo a identificação da rocha, através da observação petrográfica em escala macroscópica e microscópica. A análise macroscópica permite indicar a origem, descrever cor, estrutura da amostra e estimar seus principais constituintes, enquanto que a análise petrográfica microscópica permite o maior detalhamento dos constituintes da rocha, determinando-se sua composição mineralógica, relações texturais, processos de alteração, eventos deformacionais e o estado microfissural dos cristais (CHIODI FILHO e RODRIGUES, 2009).

O ensaio petroográfico é eficaz na obtenção dos dados tecnológicos do material, pois permite o esclarecimento de forma simples dos comportamentos físicos e mecânicos das rochas. Além do mais a análise petrográfica permitirá a identificação – se existente - de um padrão estrutural, isto é, de um desenho ou movimento da rocha, permitindo orientar a disposição da rocha, de maneira que haja harmonia no movimento estrutural das placas e identificar a orientação de corte para melhor resposta aos processos de polimento e acabamento.

3.2 Desgaste Abrasivo Amsler

A adequada resistência a abrasão oferecida pela superfície de uma rocha é fator fundamental quanto a sua escolha como material a ser utilizado como piso, pois o tráfego de pessoas gerará atrito sobre o material, devido as partículas de material arenoso nos solados dos sapatos, que agirão como material abrasivo, causando ao longo do tempo o destaque de grãos minerais, implicando na perda de brilho e no possível esburacamento da rocha (IAMAGUTI, 2001).

O ensaio Amsler é normatizado pela ABNT-NBR 12042/2012 e ASTM C-241, e consiste em submeter duas amostras de dimensões definidas a abrasão constante, e verificar a redução da espessura e do volume das rochas, resultante do desgaste gerado pelo atrito. Para a realização dos testes utiliza-se de uma máquina denominada Máquina Amsler, que é composta de discos metálicos, que pressionam as amostras, de modo que o material abrasivo, isto é, a areia quatzosa injetada promove a abrasão das peças.

3.3 Resistência à Compressão Uniaxial

Sem dúvidas é um dos ensaios mais básico e importante quando se trata de caracterização de rochas ornamentais, logo que os valores obtidos permitem uma boa estimativa das propriedades da rocha no geral, assim como afirma Vidal, Bessa e Lima (1999), os resultados obtidos do ensaio estão diretamente ligados com a porosidade da rocha, índice de flexão, estrutura (anisotropia), estado de alteração e microfissuração da rocha. O valor de resistência a compressão uniaxial indica a tensão máxima suportada pela rocha antes que ela venha a se romper por esforços compressivos.

O ensaio é regulado pela ABNT-NBR 15845-5/2015 e ASTM D-7012, e se fundamenta na aplicação de forças verticais compressivas em um corpo-de-prova, normalmente cilíndrico, registrando-se aquele limite em que a amostra atinge a resistência máxima e rompe.

3.4 Coeficiente de Dilatação Térmica Linear

As rochas quando submetidas a aumento de temperatura se dilatam, ou seja, aumentam de volume, logo quando a temperatura decresce se comprimem. O conhecimento deste parâmetro é fundamental para sugerir o material adequado e definir o distanciamento correto entre placas, evitando-se fraturas e quebras de peças. Deve-se dar destaque aos materiais de aplicação externa, os quais ficam sujeitos a variações bruscas de temperatura. A realização dos ensaios seguem as normas da ABNT-NBR 15845-3/2015 e ASTM E-228, e consiste no aquecimento e resfriamento em água de dois corpos cilíndricos, onde a temperatura inicial é 0° e a final 50°. Desta forma são verificadas as variações nas dimensões do cilindro, o que possibilita definir o coeficiente de dilatação térmica linear da rocha, expresso pela unidade $10^3/\text{mm} \times ^\circ\text{C}$.

3.5 Índices Físicos

Índices físicos referem-se a parâmetros intrínsecos das rochas, sendo essenciais para qualificação físico-química do material. As propriedades físicas observadas neste ensaio são: massa específica aparente (ou densidade), absorção de água aparente, e porosidade.

As normas que regem a realização destes ensaios são fundamentadas pela ABNT-NBR 15845-2/2015 e ASTM C-97, onde corpos-de-prova cilíndricos são preparados, sendo inicialmente lavados e em seguida aquecidos em uma estufa por um período de 24 horas, para então serem secados,

saturados em água, pesados (pesagem ao ar), submersos e por fim pesados (pesagem submersa) novamente.

3.5.1 *Massa Específica Aparente*

A massa específica aparente, representada matematicamente pela razão da massa da rocha (seca) e o seu volume, é mais um parâmetro que indica a qualidade mecânica do material. De maneira que, para revestimentos de piso, deve-se, preferencialmente, utilizar rochas com mais alto valor de massa específica, pois apresentam maior coesão entre os grãos minerais e melhor sanidade.

3.5.2 *Absorção de Água Aparente*

Este parâmetro, assim como a massa específica aparente, revela muito à respeito do estado de coesão da rocha, no que se refere a resistência mecânica e da durabilidade do material. Rochas que apresentem alto coeficiente de absorção de água (expresso em %) serão alteradas mais rapidamente, logo que a água penetrará na rocha com maior facilidade, e modificará os componentes químicos do material. A absorção de água dependerá da porosidade da rocha e de sua permeabilidade. Portanto, as rochas aplicadas no revestimento de ambientes internos úmidos (pisos de banheiro e cozinha) e externos (fachada) devem apresentar baixa capacidade de absorção de água.

3.5.3 *Porosidade*

A porosidade da rocha, relação entre o volume de vazios e o volume total do material, é um índice que implicará diretamente na resistência estrutural da rocha, principalmente na quantidade esforços compressivos que a rocha suportará. De modo que, quanto menor for o valor da porosidade apresentada (expresso em %), maior será a resistência mecânica da rocha. Logo, observa-se a influência que os índices físicos possuem entre si, onde o aumento da porosidade ocasionará no aumento da absorção de água aparente e conseqüentemente na diminuição da densidade da rocha.

3.6 Resistência à Flexão em Três Pontos

Os ensaios de resistência à flexão em três pontos são realizados seguindo as diretrizes da ABNT-NBR 15845-6/2015 e ASTM C-99-15, e se desenvolve apoiando a rocha em dois cutelos espaçados, próximos a extremidade da amostra, de modo que seja aplicado uma força compressiva no centro da amostra, a fim de gerar tração e flexão no corpo-de-prova, possibilitando determinar os valores de flexão e tração suportados pela rocha. Conforme afirma Sossai (2006), a importância deste teste se dá pelo fato de que as rochas utilizadas em revestimento externo, como por exemplo, em fachadas, bancadas e painéis de prédios, estão constantemente submetidos a forças trativas, devido a ação dos ventos, portanto exige-se da rocha certa flexibilidade, de modo que ela não quebre. Rochas utilizadas como piso também devem apresentar boa flexibilidade, já que estarão sujeitas ao tráfego de pessoas, e deverão, portanto, suportar a carga, quase que pontual, sem ceder.

3.7 Alterabilidade

A rocha exposta a um ambiente, principalmente externo, está sujeita a muitos agentes de alteração, como a ação das chuvas, ventos, vapores corrosivos, e variação de temperatura, estes que inicialmente poderão comprometer a sanidade química do material, no que diz respeito a estética da rocha, provocando perda do brilho, aparecimento de manchas e/ou escurecimento da rocha. A longo prazo surgirão indícios de perda da qualidade física e mecânica do material, onde as trincas e fissuras implicarão na deterioração avançada do material e seu possível colapso. De acordo com Frascá (2002), a alteração da rocha dependerá não somente de suas características intrínsecas, isto é, da sua mineralogia e de suas propriedades físicas, mas também do tratamento aplicado à superfície do material, o que aumentará consideravelmente a vida útil da rocha. O ensaio de alterabilidade regido pela ABNT-NBR 15854-2/2015, simula as condições de campo em laboratório, observando como a rocha se comporta a adição de novas variáveis.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A eleição de determinado material pode e deve conjugar fatores estéticos com suas propriedades mecânicas de resistência e sanidade natural, tudo de acordo com sua utilização e solicitação de serviços a que se preste.

Dispõe-se de parâmetros, índices e características que permitem prever o comportamento de materiais rochosos quando submetidos às condições ambientais específicas. A Tabela 2 sintetiza as principais características que devem ser observadas nas rochas, dependendo da finalidade do seu uso.

Tabela 2. Parâmetros tecnológicos exigidos conforme o emprego da rocha em revestimento (Frasca, 2002)

Função do revestimento	PISOS		PAREDES		FACHADAS	TAMPOS*
	Exterior	Interior	Exterior	Interior		
Tipo de rocha	X	X	X	X	X	X
Absorção de água	X	X	X	X	X	X
Desgaste abrasivo	X	X				
Flexão	X	X			X	X
Compressão			X	X	X	
Dilatação térmica	X	X	X	X	X	
Alterabilidade	X	X			X	X

*Especialmente pias de cozinha

Desta forma, haveria de se fazer um esforço para integração conjunta de *Design – Comércio – Indústria* suprindo-os com subsídios técnicos de engenharia para melhor aproveitá-los e dispor de suas qualidades naturais de maneira harmônica e duradoura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15012:** Rochas para revestimentos de edificações - Terminologia. Rio de Janeiro, 2003.

CLEMENTE, I. M. **Caracterização petrográfica, físico-mecânica e de alterabilidade dos calcários ornamentais das Bacias Potiguar e do Araripe (RN/CE)**. 2013. 166 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2013.

CHIODI FILHO, C. **Aspectos técnicos e econômicos do setor de rochas ornamentais**. Rio de Janeiro: CNPq/CETEM, 1995. 75 p.

CHIODI FILHO, C.; RODRIGUES, E. P. **Guia de aplicação de rochas em revestimentos**. São Paulo: ABIROCHAS, 2009. 100 p.

CHIODI FILHO, C. Balanço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2015. **Informe ABIROCHAS**, São Paulo, n. 01, 2016. Disponível em: <http://www.abirochas.com.br/noticia.php?eve_id=3609>. Acesso em: 01 de fev. 2016.

FRASCÁ, M. H. B. O. **Tipos de rochas ornamentais e características tecnológicas**. In: VIDAL, F. W.H.; AZEVEDO, H. C. A.; CASTRO, N. F. (eds.) *Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento*. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014. P. 4 3-97.

FRASCÁ, M. H. B. O. **Caracterização tecnológica de rochas ornamentais de revestimento**: estudo por meio de ensaios e análises e das patologias associadas ao uso. III SRONE, Recife-PE/Brasil, 2002.

IAMAGUTI, A. P. S. **Manual de rochas ornamentais para arquitetos**. 2001. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2001.

RIBEIRO, V. **Abrasividade Pendular e a Resistência Mecânica das Rochas**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

VIDAL, F. W. H.; BESSA, M. F.; LIMA, M. A. B. **Avaliação de rochas ornamentais do ceará através de suas características tecnológicas**. Rio de Janeiro: CETEM, 1999.

SOSSAI, F. J. M. **Caracterização tecnológica de rochas ornamentais**. 2006. 87 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL DOS QUARTZITOS COLORIDOS DE VÁRZEA-PB

José Firmino Barbosa Neto¹, Fabrício Fernandes Vieira², Elissandra N. Moura³

¹ Graduando de Engenharia de Minas, UFCG

² Programa de Pós-Graduação em Exploração Petrolífera e Mineral, UFCG

³ Programa de Pós-Graduação em Exploração Petrolífera e Mineral, UFCG

Neto_costta@hotmail.com

RESUMO

O Seridó (PB e RN) compreende uma região com importante atividade exploradora de diversos minerais industriais, rochas ornamentais e gemas, extraídos de rochas da Província Pegmatítica da Borborema, ou das rochas encaixantes paraderivadas da Faixa Seridó, Domínio Rio Grande do Norte da Província Borborema. Os quartzitos do município de Várzea-PB tiveram seu uso intensificado como rocha ornamental a partir da década de quarenta, com a utilização como pisos e revestimentos. As camadas horizontais de quartzito com espessuras decimétricas a métricas apresentam respectivamente cores variadas. O objetivo deste trabalho é quantificar o grau de resistência à compressão uniaxial de cada dos quartzitos amarelo, azul, branco e cinza. Essa determinação pode contribuir com a indicação do uso apropriado de cada cor. Para este ensaio mecânico foi utilizado o Martelo Schmidt, também conhecido por esclerômetro de recuo. Esse método baseia-se na análise do choque entre dois corpos, dos quais um está fixo e o outro em movimento. Foram coletadas amostras de cada um dos tipos coloridos de quartzito. Para cada uma das amostras o ensaio foi repetido 10 vezes na vertical (perpendicular à foliação) e 5 vezes na horizontal (paralela à foliação). Na ordem crescente de resistência à compressão uniaxial dos quartzitos avaliados, tem-se: amarelo (35,6 MPa), branco (38,1 MPa), azul (53,7 MPa) e cinza (54,3 MPa). O quartzito cinza é o que está mais acima da média, com 54,3 MPa. A resistência de todos os tipos indica que todas as cores podem ser utilizadas como revestimento em paredes externas. Para uso de placas como piso que serão submetidos à pressão de carga, o azul e o cinza são os mais recomendados.

PALAVRAS-CHAVE: resistência, quartzitos, martelo Schmidt.

ABSTRACT

The Seridó (PB and RN) comprises a region with a significant exploratory activity of various industrial minerals, ornamental stones and gems, extracted from rocks Pegmatitic Province Borborema, or paraderivadas host rocks of the Seridó Belt, Rio Grande Domain northern Borborema Province. The quartzite of Várzea-PB municipality had intensified its use as an ornamental rock from the forties, using as floors and walls. The horizontal layers of quartzite with ultrahigh metrics thickness each have different colors. The objective of this study is to quantify the degree of uniaxial compressive strength of each of quartzite yellow, blue, white and gray. This determination can contribute indicating the proper use of each color. For this mechanical test was used Schmidt Hammer, aka rebound hammer recoil. This method is based on the shock analysis between two bodies, one of which is fixed and the other moving. samples of each of the colored quartzite types were collected. For each sample the assay was repeated 10 times in the vertical (perpendicular to foliation) and 5 times in the horizontal (parallel to foliation). In ascending order of uniaxial compressive strength of the evaluated quartzitos, we have: yellow (35.6 MPa), white (38.1 MPa), blue (53.7 MPa) and gray (54.3 MPa). The gray quartzite is what is above average, with 54.3 MPa. The resistance of all types indicates that all colors can be used as a coating for external walls. For use as floor plates that will be submitted to the charge pressure, blue and gray are the most recommended.

KEYWORDS: resistance, quartzitos, hammer Shmidt

1. INTRODUÇÃO

O Seridó (PB e RN) compreende uma região com importante atividade exploradora de diversos minerais industriais, rochas ornamentais e gemas, extraídos de rochas da Província Pegmatítica da Borborema (Figura 1), ou das rochas encaixantes paraderivadas da Faixa Seridó, Domínio Rio Grande do Norte da Província Borborema. Os quartzitos do município de Várzea-PB tiveram seu uso intensificado como rocha ornamental a partir da década de quarenta, com a utilização como pisos e revestimentos. As camadas de quartzito, com alto mergulho, com espessuras decimétricas a métricas apresentam respectivamente cores variadas (Figura 2).



Figura 1- Mapa de localização.



Figura 2- Pedreira de quartzito em Várzea-PB

O objetivo deste trabalho é quantificar o grau de resistência à compressão uniaxial de cada um dos quartzitos nas cores: amarelo, azul, branco e cinza. Essa determinação pode contribuir com a indicação do uso apropriado de cada cor.

2. METODOLOGIA DE TRABALHO

2.1 ESCLERÔMETRO OU MARTELO SCHMIDT

A resistência à compressão simples das rochas pode ainda ser correlacionada com a sua dureza. A dureza geralmente é associada com a chamada dureza de Schmidt que é determinada

através do ensaio esclerométrico. Este valor pode ser correlacionado com a resistência à compressão simples da rocha constituinte de acordo com o valor do seu peso volumétrico.

No que diz respeito à resistência, embora as características de deformabilidade do maciço sejam essencialmente dependentes das descontinuidades, é de grande utilidade o seu conhecimento da material-rocha, especialmente quando se trata de maciços de fraca qualidade geomecânica. Este ensaio permite estimar de forma aproximada a resistência à compressão simples, sendo aplicada a matriz rochosa e também às descontinuidades. A aplicabilidade deste ensaio é bastante elevada devido à sua simplicidade, não destrutividade, rapidez e fácil portabilidade (figura 3).

A determinação da resistência à compressão uniaxial é obtida, em geral, a partir de ensaios de laboratório ou de campo. A determinação do índice de resistência à carga pontual, recorrendo a determinação da dureza com o martelo Schmidt, pode conduzir à estimativa do valor da resistência uniaxial.

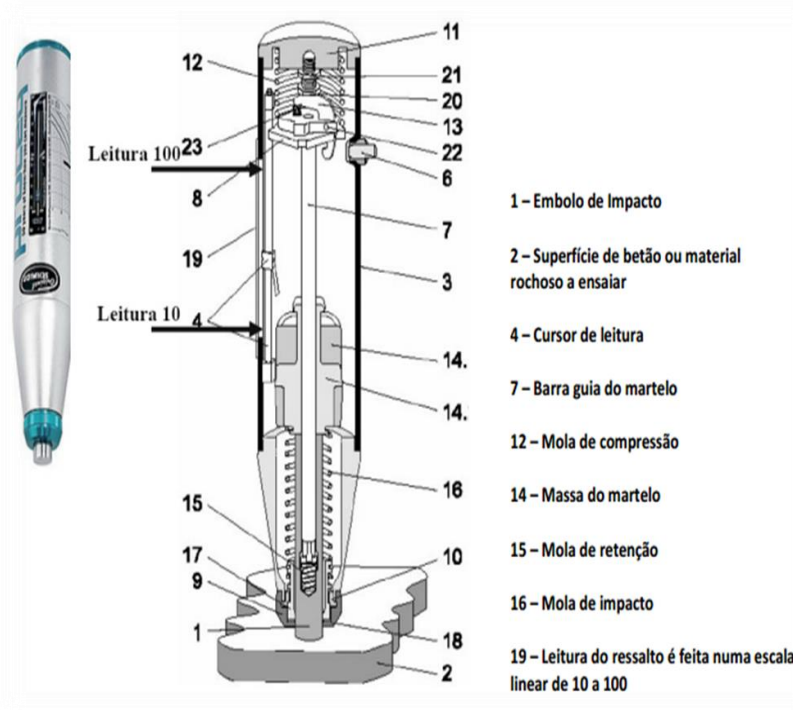


Figura 3 - Martelo de Schmidt ou Esclerômetro Portátil (www.proceq.com): suas partes principais.

Utilização do Martelo Schmitd:

- 1) As amostras com superfícies planas, para apoiar a amostra no chão e outra onde o ensaio seria aplicado;

- 2) Para apoiar o equipamento é preciso apoiar levemente a barra e pressionar o botão, a barra sai inteiramente do aparelho e o martelo é preso pela garra.
- 3) Ao movimentar uniforme e lentamente a barra na direção normal à superfície das amostras laminadas, o martelo é liberado, ocasionando o choque e consequente reflexão. Neste momento, o botão é acionado novamente para obter-se o resultado. Feito isso. Lê-se o valor do recuo registrado pelo cursor na escala graduada. Aliviada pressão do aparelho, a barra volta à posição inicial.

Para cada uma das amostras o ensaio foi repetido 10 vezes na vertical e 5 na horizontal. Na determinação do índice esclerométrico, considera-se a média aritmética das observações dos resultados obtidos. Para a realização da transformação numérica necessária, esta média é correlacionada com a resistência à compressão simples da rocha ensaiada com o valor do peso volumétrico da mesma.

Foram coletadas amostras de cada um dos tipos coloridos de quartzito. Para cada uma das amostras o ensaio foi repetido 10 vezes na vertical (perpendicular à foliação) (Figura 4) e 5 vezes na horizontal (paralela à foliação).



Figura 4- Manuseio do martelo nos testes em quartzitos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a densidade foi utilizado dados da literatura:

$$\text{Quartzitos: } 2,64 \text{ a } 2,65 \text{ g/cm}^3 = 2,60 \text{ kN/m}^3$$

A partir dos dados das tabelas abaixo foram calculadas as médias e realizada a transformação necessária obtendo-se assim os valores da Resistência a Compressão Uniaxial em Mpa de cada amostra.

Amostra AMVA03-NECUBR	Vertical	Horizontal
Pontos	38	44
	33	40
	44	42
	40	32
	33	32
	41	
	43	
	33	
	42	
	34	
Média	38,1	38
Resistência a Compressão Uniaxial	80 Mpa	75 Mpa

Amostra AMVA03-NECUAM	Vertical	Horizontal
Pontos	35	35
	34	39
	39	42
	40	42
	31	32
	38	
	34	
	36	
	34	
	35	
Média	35,6	38
Resistência a Compressão Uniaxial	65 Mpa	75 Mpa

Amostra AMVA03-NECUAZ	Vertical	Horizontal
Pontos	50	58
	52	60
	55	50
	54	57
	58	48
	54	
	58	
	55	
	52	
	49	
Média	53,7	54,6
Resistência a Compressão Uniaxial	180 MPa	170 Mpa

Amostra AMVA03-NECUCI	Vertical	Horizontal
Pontos	54	46
	56	56
	55	51
	54	47
	60	48
	57	49,6
	56	
	55	
	48	
48		
Média	54,3	49,6
Resistência a Compressão Uniaxial	180 Mpa	130 Mpa

O valor estimado a partir do martelo Schimdt deve ser obtido estatisticamente, de tal maneira que seja um valor representativo da resistência em causa. A ISRM (1981) recomenda, nos estudos de mecânica das rochas e de geologia de engenharia, a realização de 10 medições em cada superfície ensaiada, tomando como valor representativo a média dos 5 valores mais elevados.

Com o valor médio obtido e conhecida a densidade do material –rocha, recorre-se ao ábaco de Miller obtendo-se o valor da resistência à compressão uniaxial, para o material ensaiado (Figura 5).

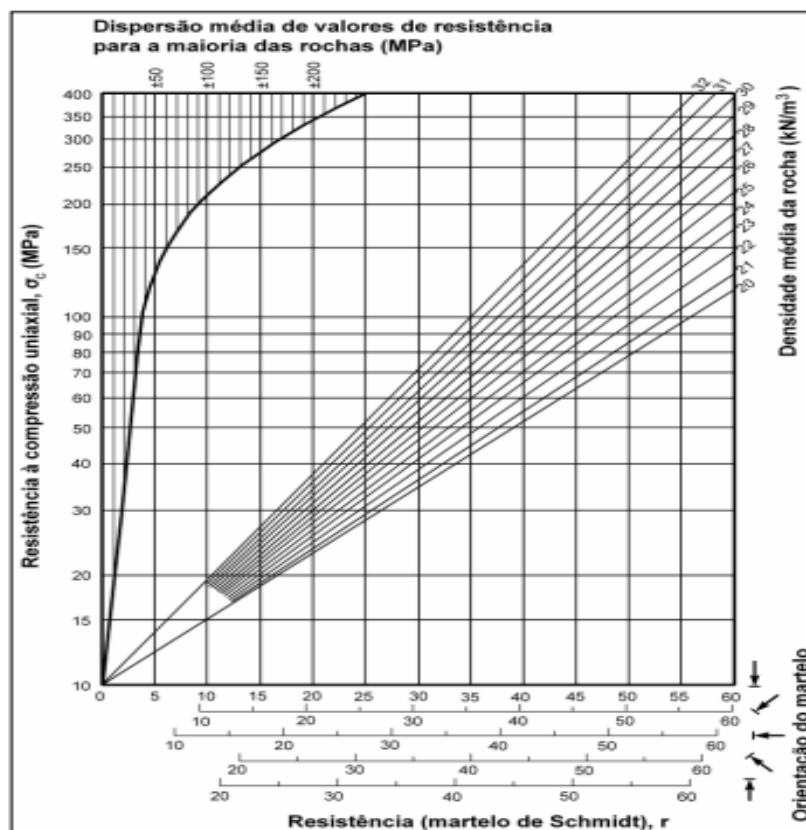


Figura 5: Ábaco de Miller para cálculo da resistência a partir do martelo Schmidt.

A ISRM (1981, 1985) sistematiza, em termos de classificação, cinco termos de resistência à compressão (quadro 1).

Quadro 1 – Classificação do maciço com base na resistência à compressão simples (ISRM, 1978, 1981)

Classificação	Resistência à Compressão Simples (MPa)	Designação	
S ₁	> 200	Muito elevada	S _{1,2}
S ₂	60 a 200	Elevada	Elevada
S ₃	20 a 60	Média	S ₃ Média
S ₄	6 a 20	Baixa	S _{4,5}
S ₅	<6	Muito baixa	Baixa

Verifica-se que ainda é possível, através de análises expeditas, realizadas com o recurso ao martelo de geólogo ou, por exemplo, recorrendo a uma faca, estimar os valores da resistência à compressão. Para tal, bastará recorrer à classificação proposta pela ISRM (Quadro 2), que em função do grau de qualidade da rocha, correlaciona a resistência à compressão simples e o índice de carga pontual, com o comportamento do material pétreo face aquelas análises expeditas.

Quadro 2 – Função do grau de qualidade da rocha (R0 a R6) correlacionada com a resistência à compressão simples e o índice de carga pontual.

GRAU	DESIGNAÇÃO	σ_c (MPa)	$Is(50)$ (MPa)	ANÁLISE EXPEDITA
R6	Extremamente elevada	> 250	>10	A rocha lasca depois de sucessivos golpes de martelo e ressoa quando batida
R5	Muito elevada	100 - 250	4 - 10	Requer muitos golpes de martelo para partir espécimes intactos de rocha
R4	Elevada	50 - 100	2 - 4	Pedaços pequenos de rocha seguros com a mão são partidos com um único golpe de martelo
R3	Mediana	25 - 60	1 - 2	Um golpe firme com o pico do martelo geólogo faz identações até 5 mm; com a faca consegue-se raspar a superfície
R2	Baixa	5 - 25	(*)	Com a faca é possível cortar o material, mas este é demasiado duro para lhe dar forma de provete para o ensaio triaxial
R1	Muito baixa	1 - 5	(*)	O material desagrega-se com golpe firme do pico de martelo de geólogo
R0	Extremamente baixa	0,25 - 1	(*)	Consegue-se marcar com a unha

4. CONCLUSÕES

Na ordem crescente de resistência à compressão uniaxial dos quartzitos avaliados, tem-se: amarelo (35,6 MPa), branco (38,1 MPa), azul (53,7 MPa) e cinza (54,3 MPa).

O quartzito cinza é o que está mais acima da média, com 54,3 MPa. A resistência de todos os tipos indica que todas as cores podem ser utilizadas como revestimento em paredes externas. Para uso de placas como piso que serão submetidos à pressão de carga, o azul e o cinza são os mais recomendados.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, M.F.S; MOURA, E.N.VIEIRA, F.F. Fotointerpretação auxiliando a pesquisa mineral no seridó (PB/RN). Campina Grande-PB, 2015.

SITE : www.proceq.com

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E PETROGRÁFICAS DOS GRANITOS VERMELHO BRASÍLIA E VERMELHO VENTURA E SUA UTILIZAÇÃO COMO MATERIAL DE REVESTIMENTO EXTERNO

Suely M. B. Silva¹, Felisbela M. C. Oliveira², Evenildo B. Melo³, Bethania Pontes⁴

¹ Tecnóloga em Gás e Petróleo; Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, UFPE;

² Engenheira Civil; Programa de Pós-graduação em Engenharia Mineral, UFPE;

³ Geólogo; Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, UFPE;

⁴ Geógrafa, Programa de Pós-Graduação em Geociências, UFPE;

felisbela.oliveira@ufpe.br

RESUMO

As rochas ornamentais quando usadas como revestimento externo em edificações sofrem processos de deterioração mais intensos que aquelas colocadas em ambientes internos secos. Por meio de ensaios de caracterização tecnológica, este trabalho visa orientar a aplicação e a previsão do comportamento de dois tipos de granito vermelho, Ventura e Brasília. Estes litotipos apresentam índices físicos e resistência à flexão compatíveis com aqueles indicados pela NBR 15844. As características mecânicas de ambos os materiais, no que se refere à média geral dos ensaios de flexão (seca e saturada), se apresentaram satisfatórias quanto à normatização da ABNT NBR 15844:2010. O tipo de granulação da rocha influencia diretamente na resistência a flexão sendo o granito Vermelho Ventura mais resistente à flexão em ambiente seco, por conter grãos mais finos. Suas características se assemelham pelo tamanho dos cristais de K-feldspato róseo com textura heterogranular, entretanto no granito Vermelho Ventura há maior variedade textural, com grãos mais finos, existindo maior chance de continuidade do microfissuramento dos pequenos cristais de quartzo e, portanto, maior absorção de umidade que o Vermelho Brasília. A análise mineralógica aponta para rochas com elevado teor de feldspato potássico de coloração rósea (55% para Brasília e 50% para Ventura) responsável pela cor avermelhada destas rochas, acentuada pela alteração natural dos minerais máficos associados. Entretanto o Vermelho Brasília apresenta menor conteúdo em máficos (12%) do que o Ventura (20%) o que se traduz pela menor resistência à ação intempérica deste último. Processos de alteração mais intensos geram redução

da sua resistência mecânica e, portanto, menor durabilidade. O grau de microfissuramento e a constituição mineralógica foram os fatores petrográficos mais importantes na determinação da resistência à alterabilidade. O Vermelho Ventura apresentou maior susceptibilidade à alteração por conter em sua composição mineralógica maior quantidade de minerais escuros e maior variedade textural, com grãos mais finos, que repercutem na alterabilidade das demais espécies minerais por absorção de umidade. No entanto, a oxidação dos minerais ferromagnesianos, não repercutem tanto na aparência visual, devido a coloração vermelha da rocha. A coloração original do Vermelho Ventura não sofre grande mudança uma vez que os produtos decorrentes dos processos de oxidação e hidroxidação natural dos minerais máficos apresentam coloração vermelha, amarronzada e amarelada, não quebrando a reprodutibilidade do aspecto estético desta rocha. Por fim a baixa alterabilidade dos feldspatos potássicos em relação aos demais minerais aumenta a valorização ornamental deste tipo pétreo, sobretudo pelos profissionais da Arquitetura.

Palavras-chave: Vermelho Ventura; Vermelho Brasília; granitos; índices físicos.

ABSTRACT

Dimension Stones suffer more intense deterioration processes when used as external cladding in buildings than those placed in dry environment indoors. Through technological characterization tests, this work aims to guide the implementation and the prediction of the behavior of two types of red granite, Ventura and Brasilia. These rock types present physical indices and flexural strength consistent with those indicated by NBR 15844. The mechanical properties of both materials were presented satisfactory accordingly to the regulation of the ABNT NBR 15844: 2010, with regards to the overall average of bending tests (dry and saturated). The type of rock grain influences directly on the bending strength, the granite "Ventura" Red is more resistant to bending in a dry environment, because it contains finer grains. Its characteristics resemble the size of the pink K-feldspato crystals with heterogranular texture, however there is greater textural variety in the Ventura Red granite, with finer grains, existing greater chance of continuity of microcracking of the smaller quartz's crystals and thus greater absorption moisture than the Brasilia Red granite. The mineralogical analysis points to rocks with high potassium feldspar content, pinkish in color (55% for Brasilia and 50% for Ventura) responsible for the reddish color of these rocks, accentuated by

the natural alteration of associated mafic minerals. However the Brasília Red granite presents lower mafic content (12%) than the Ventura Red granite (20%) which is reflected by the lower resistance to weathering action of the latter. Most intense changing processes result in a reduction of its mechanical strength and thus shorter durability. The degree of microcracking and the mineralogical constitution were the most important petrographic factors in determining the resistance to changeability. The Ventura Red granite is more susceptible to change because it contains in its mineralogical composition larger amount of dark minerals and greater textural variety, with finer grains, which reverberates on the changeability of other mineral species by moisture absorption. However, the oxidation of the ferromagnesian minerals does not reverberates in visual appearance, due to red coloration of the rock. The original color of the Ventura Red granite suffers no major change since the products resulting from oxidation processes and natural hidro oxidation of mafic minerals show red, brownish and yellowish colors, not breaking the reproducibility of the aesthetic aspect of the rock. Finally, the low changeability of potassium feldspars in relation to other minerals increases the ornamental value of this stony type, especially by architecture professionals.

KEYWORDS: "Ventura" Red, Brasília Red, granites, physical indices.

1. INTRODUÇÃO

Os granitos vermelhos são muito usados como revestimento externo em edificações. Sua composição mineralógica, rica em feldspatos potássicos, identificados por sua cor avermelhada, faz com que este tipo de rocha seja menos susceptível à ação das intempéries e dos poluentes urbanos. Este trabalho estuda as características físicas e petrográficas dos granitos Vermelho Ventura e Vermelho Brasília, bastante utilizados como revestimento externo de edificações. A caracterização tecnológica destes materiais possibilita a adequação mais otimizada e a prevenção de problemas arquitetônicos como manchas, destacamento, fissuras, decorrentes da deterioração destas rochas.

O aspecto estético é o principal condicionante para o uso das rochas de revestimento. Conjugado a este fator, devem ser consideradas as características tecnológicas da rocha, a tipologia do jazimento, bem como os possíveis defeitos das etapas de extração e de beneficiamento (FRASCÁ & QUITETE, 2000, apud RIBEIRO, 2005). As rochas ornamentais devem apresentar propriedades que facilitem seu aproveitamento e sua utilização. Quando usadas em ambientes externos,

experimentam com maior intensidade, os processos de deterioração que aquelas colocadas em ambientes internos. A redução da sua resistência física e mecânica são alguns processos de alterações mais intensos, gerados por condições adversas, frente à ação dos agentes intempéricos e poluentes atmosféricos do meio ambiente.

O uso de um material pétreo para fins ornamentais está relacionado com fatores intrínsecos da rocha, tais como intensidade e tipo de alteração, presença de tensões confinadas, heterogeneidade textural e suas propriedades físicas e químicas. Também são importantes os fatores externos, relacionados com os processos de extração e beneficiamento, tais como os defeitos resultantes dos processos de serragem, polimento e brilho que podem ocasionar ou amplificar microfissuras pré-existentes (AIRES-BARROS, 2001). A determinação dos índices físicos (densidade, porosidade e absorção d'água) assim como o conhecimento de propriedades mecânicas das rochas é de grande importância para identificação das patologias associadas a estes materiais de revestimentos externos de edificações. A densidade traduz a quantidade de matéria por unidade de volume, portanto, quanto mais denso é o material menos poros ele possui e, por conseguinte, menos água ele absorve. Também materiais mais densos apresentam resistência à compressão mais elevada e, conseqüentemente, maior resistência à flexão. Ainda, rochas porosas apresentam maior superfície de ataque para os agentes intempéricos, como a chuva, sendo mais vulneráveis a alteração.

1.1 Os “Granitos” Vermelhos

De acordo com a cor, existe uma ampla variedade para os "granitos": branco, bege, vermelho, marrom, amarelo, azul, verde, preto e cinza. A sua coloração é devido principalmente à cor dos minerais constituintes e da alteração intempérica. Geralmente, são preferidas as rochas de granulometria grossa com textura equidimensional sem orientação, isto é, típica textura granítica. Entretanto, em certos casos, são preferidas as rochas com fenocristais ou porfiroblastos orientados. Os "granitos" vermelhos têm esta coloração devido ao feldspato alcalino (SANTIAGO et al, 2012). Rochas representativas deste tipo são o Granito Vermelho Ventura e Granito Vermelho Brasília.

O Granito Vermelho Ventura é uma das variações faciológicas do batólito granítico de Venturosa, pertencente à suíte potássica-calcialcalina metaluminosa de idade neoproterozóica. O Granito Vermelho Ventura típico é lavrado na Mina Peri-Peri, Venturosa, PE (CPRM, 2008). De acordo com Neves (2010), o Granito Vermelho Brasília de natureza magmática é extraído no município de

Jaupací, Estado de Goiás. Sua coloração é avermelhada com estrutura discretamente orientada, inequigranular, de granulação grossa. A granulação oscila desde 0,3 mm até cerca de 5,0 cm ou mais, com predominância entre 0,5 e 3,0 cm, caracterizada por bom entrelaçamento mineral. Os cristais maiores são de microclínio, os quais exibem formas variadas, podendo ser irregulares, alongados ou ovalados (com dimensões que podem atingir até 2,5 x 5,0 cm) a prismáticos (nestes casos apresentam dimensões que vão desde 0,5 x 0,5 x 1,5 cm a 1,5 x 2,0 x 5,0 cm). Apresentam contornos irregulares (devido à corrosão durante cristalização, magmática) e mais raramente retilíneos (situação mais frequente nos cristais prismáticos), o que apesar da granulação grossa da rocha, se reflete em bom imbricamento mineral e conseqüentemente na coesão da rocha.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O conhecimento da petrografia e de características como densidade, porosidade e absorção de água e também resistência à flexão dos materiais serão primordiais na previsão da durabilidade quando da aplicação em revestimento externo. As amostras estudadas foram de dois tipos: (1) in natura e (2) material usado. Os materiais in natura dos dois Vermelhos (Brasília, denominado VB, e Ventura, denominado VV) foram obtidos em marmorarias da cidade do Recife. O material usado foi obtido do descarte de placas pétreas do litotipo Vermelho Ventura, proveniente da manutenção do revestimento externo do Edifício Burle Marx, também em Recife. Infelizmente não foi possível a obtenção de peças usadas do Vermelho Brasília. Foram confeccionados 10 corpos-de-prova de cada material in natura para a determinação dos índices físicos para a resistência à flexão em quatro pontos. Foram ainda preparadas lâminas do material in natura (VV e VB) para descrição petrográfica. Na tabela 1, estão listadas as normas seguidas nos ensaios.

Tabela 1. Ensaios realizados nos granitos Vermelhos

ENSAIOS	
Caracterização Tecnológica ABNT NBR 15845:2010	Análise petrográfica - Anexo A
	Absorção d'água - Anexo B
	Densidade aparente - Anexo B
	Porosidade aparente – Anexo B
	Flexão em 4 pontos - Anexo G

Avaliações qualitativas e quantitativas das características petrográficas foram relacionadas com a composição mineralógica, textura, grau ou intensidade de microfissuramento intergranular e intragranular, porosidade e natureza dos contatos intergranulares (planos, côncavo-convexos,

serrilhados). Todas estas características permitem avaliar preliminarmente a susceptibilidade das rochas a se alterar quando as mesmas são usadas em diferentes situações que geram processos de deterioração (ARTUR et. al., 2001 apud BECERRA BECERRA, 2007).


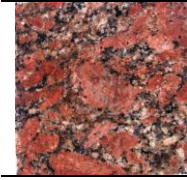
Segundo Frascá (2003), a análise petrográfica é uma ferramenta que esclarece frequentemente as diferentes propriedades físicas e/ou mecânicas que a vista desarmada parecem semelhantes. Os principais determinantes da alterabilidade da rocha são grau de microfraturamento, presença de minerais instáveis e/ou alterados, heterogeneidade textural e granulométrica. Estas análises foram realizadas através de dois tipos de equipamentos ópticos: a) microscópio binocular e b) lupa digital monocular com aumento de 200x. Todas as amostras – do Vermelho Ventura (in natura), do Vermelho Brasília (in natura) e do Vermelho Ventura coletada no edifício Burle Marx -, foram analisadas em microscópio binocular.

Os ensaios de índices físicos permitem avaliar, indiretamente, o estado de alteração e de coesão em rochas de revestimento, assim como, a possibilidade de infiltração de líquidos na rocha. Os ensaios de resistência à tração avaliam a capacidade das placas pétreas a se curvarem ou flexionarem quando submetidas aos esforços de ventos ou cargas em revestimentos externos de edificações. Este parâmetro foi determinado pelo ensaio de resistência à flexão em 4 pontos em 10 amostras de cada litotipo nas dimensões de 2 x 3 x 20 cm, de acordo com a NBR 15845 – anexo G.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise petrográfica dos granitos estudados é mostrada na tabela 2. Macroscopicamente as duas rochas assemelham-se em suas cores claras, predominantemente avermelhadas a róseas, a textura apresenta-se isotrópica de aparência heterogranular variável, desde submilimétrica a

Tabela 2. Análise Petrográfica dos Granitos Vermelho Brasília e Vermelho Ventura

Análise Modal:				
	Granito Vermelho Brasília (VB)			
	K-feldspato 55 %	Plagioclásio 15%	Quartzo 18%	Ferro Magnesianos Biotita 11% e Hornblenda 1%
	Granito Vermelho Ventura (VV)			
	K-feldspato 50 %	Plagioclásio 18%	Quartzo 12%	Ferro Magnesianos Biotita 17% e Hornblenda 3%

supracentimétrica, formando agregados com até 3,0 cm para o Vermelho Ventura e até 5,0 cm para o Vermelho Brasília. Os félsicos são essencialmente feldspatos potássicos róseos, com raros indivíduos de cor creme e quartzo na cor acinzentada, sendo bastante notável o seu maior conteúdo no tipo Vermelho Brasília (18%) que no Vermelho Ventura (12%). Na visão microscópica há maior presença de minerais ferro-magnesianos no granito Vermelho Ventura (20%), o que explica maior potencial de oxidação que o granito Vermelho Brasília (12%). A composição ferrífera, aparentemente um pouco subordinada, materializa-se nos cristais pelas tonalidades de cor marrom clara a escura avermelhada. As biotitas magnesianas ou ferríferas, às vezes, expressam tênue foliação, sem indício de deformação frágil a rúptil (SILVA, 2014).

A presença do quartzo nestes materiais se repercute na possibilidade de microfissuramento e, conseqüentemente, em absorção de umidade pela rocha. O granito Vermelho Ventura, mesmo apresentando menor percentual de quartzo, possui uma maior variedade textural, com graus mais finos, existindo maior chance de continuidade do microfissuramento dos pequenos cristais. Há indícios de saussurita (epidoto mais carbonato) e carbonatação em alguns plagioclásios, dado que deve repercutir no brilho mais homogêneo e cintilância localizada após o polimento da chapa.

A análise do material obtido do descarte do Edifício Burle Max (material usado como revestimento externo) foi realizada utilizando-se uma lupa digital monocular. Para isto, fez-se marcação em quadrantes numerados para tornar mais fácil a análise visual dos pontos escolhidos, conforme figura 1.

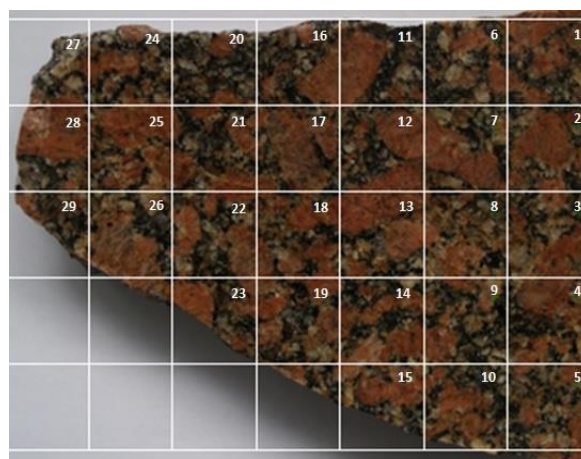


Figura 1 – Granito VV aplicado no Ed. Burle Marx

A composição modal deste material consiste em 50% de K-feldspato, de cristais com granulometria de 2 à 5 cm; 20% de minerais escuros cujos cristais variam de 2 mm à 5 mm; e 12 % de quartzo com grãos entre 5 mm e 10 mm; além 18% de discretos cristais de plagioclásios de

tamanho milimétrico. Através da lupa digital, observou-se no quadrante 5, que existem manchas avermelhadas e de contato difuso no mineral escuro no qual ela está ocorrendo (figura 2).

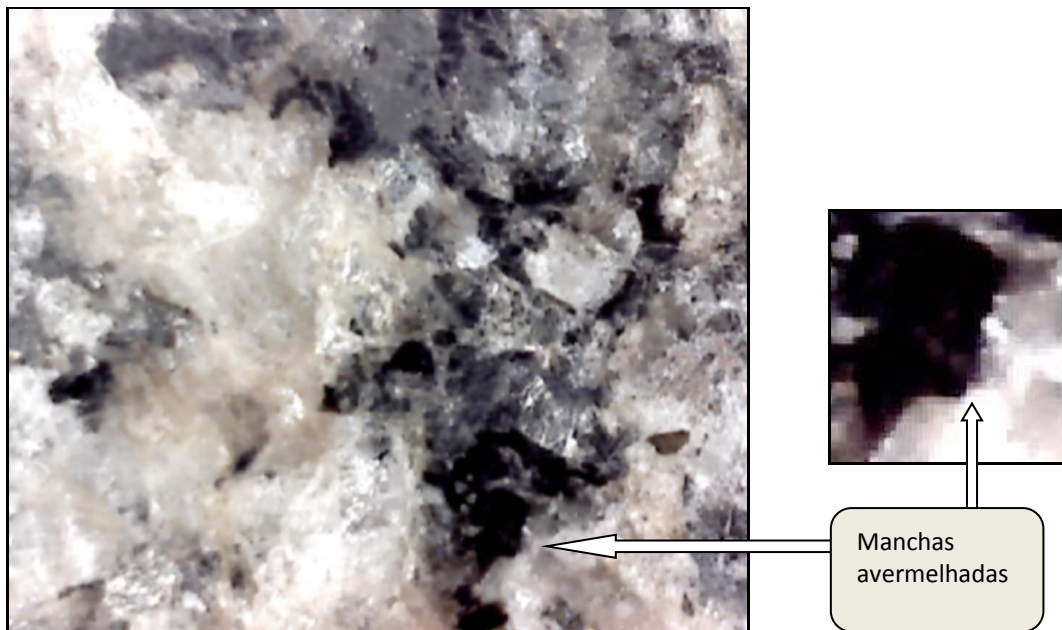


Figura 21 - VV quadrante 5

Ainda no mesmo quadrante 5 da mesma amostra do granito Vermelho Ventura, pode-se observar que o mineral escuro está próximo ao K-feldspato que é um mineral pouco alterável. Todavia, há manchas amareladas que estão, sobretudo, associadas aos minerais máficos de grãos menores, inclusos em quartzo microfissurado. A microfissuração do quartzo possibilita a absorção de água que, em contato com os minerais máficos, promove sua oxidação produzindo cores avermelhadas, típicas deste processo, nos cristais de quartzo vizinhos. Na figura 3 do quadrante 1, há mineral preto, associado com quartzo, mas diferentemente distribuído. Observa-se também que há manchas amarelas nas microfissuras, em maior proximidade dos minerais escuros, o que permite relacionar essas manchas com hidroxidação de mineral ferromagnésiano.

Nos quadrantes 9 e 20, há discreta alteração no mineral claro, microfissurado, para a cor amarelada, demonstrando que neste material ocorreu uma hidroxidação, resultante da associação do microfissuramento com a ação das águas de chuva. Na imagem do quadrante 11, da mesma figura, há maior presença relativa de minerais escuros, presença de K-feldspato e quase ausência de quartzo, não havendo a ocorrência de manchas avermelhadas ou amareladas, o que se traduz em pouca alterabilidade, sugestivamente pela falta de microfissuramento.

As rochas graníticas com menor densidade apresentam maior absorção d'água. As propriedades apresentadas nos índices físicos estão diretamente relacionadas entre si. Tal tendência pode ser

explicada pelo fato de densidades menores estarem relacionadas a um volume maior de vazios (poros, microfissuras etc.) no material, o que, por sua vez, permite maior infiltração de água.

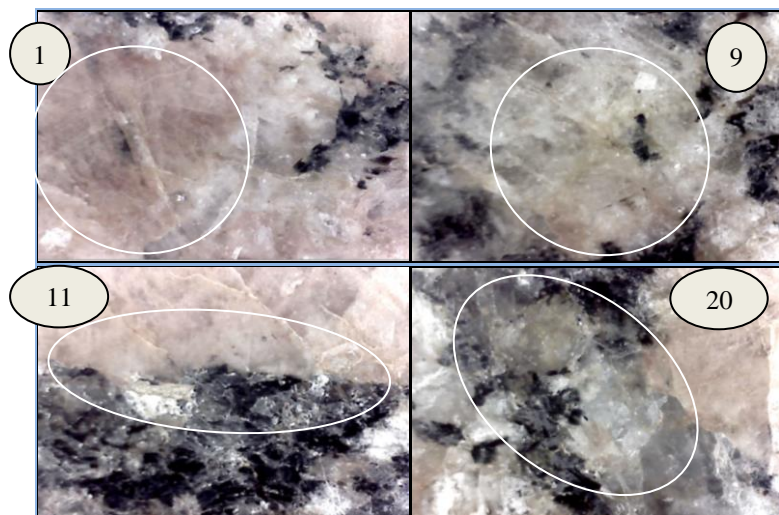


Figura 3 - Imagens do granito VV aplicado no ed. Burle Marx, aumentadas pela lupa digital

Os valores dos índices físicos dos granitos vermelhos apresentam-se acima dos valores estabelecidos pela NBR 15844:2010, conforme mostrado na tabela 3:

Tabela 3. Média dos valores dos Índices Físicos dos granitos VB e VV in natura

LITOTIPO (Nome Comercial)	Densidade Aparente (Kg/m ³)	Porosidade (%)	Absorção (%)	Resistência à flexão em 4 pontos
VB	2628,74	0,45	0,17	12,00
VV	2628,90	0,56	0,21	16,23
NBR 15844:2010	2.550,00	1,00	0,40	8,00

A resistência à flexão em 4 pontos determina o maior tamanho e/ou menor espessura que uma placa de rocha pode ter para suportar as condições estruturais e atmosféricas locais. Ele tem relevância particular no caso de revestimentos exteriores. O tipo de granulação da rocha vai influenciar diretamente na resistência à flexão, pois quanto maior ela for menor será a resistência. Os ensaios de flexão em 4 pontos foram realizados nas condições seca e saturada com cargas aplicadas na direção paralela ao plano de fraqueza da rocha. Assim, os corpos de prova foram divididos em dois grupos para cada litotipo estudado e submetidos ao ensaio de tração, cujos resultados se apresentam também na tabela 3. A correlação dos resultados obtidos nestes ensaios, com o parâmetro estabelecido pela ABNT NBR 15844:2010 (≥ 8 MPa), expressos na tabela 04, foram satisfatórios em todos grupos dos litotipos analisados. No entanto, nos ensaios do granito Vermelho Ventura houve uma maior variação em seus resultados, o que sugere haver um

grão mineral de maior granulometria no local de ruptura o que ocasiona maior resistência do corpo-de-prova.

4. CONCLUSÕES

Os materiais Vermelho Brasília e Vermelho Ventura apresentam índices físicos compatíveis com aqueles da NBR 15844:2010. Suas características se assemelham pelo tamanho dos cristais de K-feldspato róseo com textura heterogranular; entretanto no granito Vermelho Ventura há maior variedade textural, com grãos mais finos, existindo maior chance de continuidade do microfissuramento dos pequenos cristais de quartzo, apresentando maior absorção de umidade. As características mecânicas de ambos os materiais apresentaram-se satisfatórias quanto à NBR 15844:2010. O tipo de granulação da rocha influencia diretamente na resistência a flexão sendo o granito Vermelho Ventura mais resistente à flexão por conter grãos mais finos. O Granito Vermelho Ventura demonstra maior susceptibilidade à alteração. Este fato se deve à sua composição mineralógica que apresenta maior quantidade de minerais escuros também e maior variedade textural, com grãos mais finos, que repercutem na alterabilidade das demais espécies minerais por absorção de umidade. Os diversos ensaios realizados demonstram claramente que os granitos vermelhos são tecnologicamente considerados rochas de boa qualidade, e que podem ser utilizados como material de revestimento para uso interno ou externo na indústria de construção civil.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIRES BARROS.** As rochas dos monumentos portugueses. Tipologias e patologias. Lisboa: Min. Cultura, Inst. Port. Patrimônio Arquitetônico, 2001, 535p.
- BECERRA BECERRA, J. E.; COSTA A. G.** Ensaio de Alterabilidade Acelerada para Avaliação da Durabilidade de Seis Granitos Ornamentais Brasileiros. *Genomos* 15(2), 2007, 33 – 42
- CPRM – Programa Geologia do Brasil.** Geologia da Folha Venturosa. Pernambuco, 2008. 71 p.
- NEVES, Márcia C.** Estudo experimental do polimento de diferentes “granitos” e as relações com a mineralogia. Dissertação, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, SP, 2010.
- RIBEIRO, P.** Influência das características petrográficas de granitos no processo industrial de desdobramento de blocos. 2005.132p. (Tese Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SANTIAGO, A. S. et al;** Diagnóstico Ambiental das Marmorarias do Estado da Paraíba. 2º Congresso Químico do Brasil. RN. 2012
- NBR 15844** – 2010;
- NBR 15845** – anexos A e B.

IMPORTÂNCIA DA MICROSCOPIA NA AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS ORNAMENTAIS DO SIENITO MARROM IMPERIAL

*Tháise M. F. Kálix¹, Felisbela M. C. Oliveira², Evenildo B. Melo³, Wagner J. M. Ribeiro⁴,
Márcio L. S. C. Barros⁵*

¹Geóloga, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral/UFPE

²Profª Drª, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral/UFPE;

³Prof. Dr. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral/UFPE;

⁴Prof. Ms. Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco;

⁵Prof. Dr. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral/UFPE;

felisbela.oliveira@ufpe.br

RESUMO

O Granito Marrom Imperial, geologicamente um sienito, é comercialmente dividido em três litotipos diferenciados pelo teor de plagioclásio e minerais ferromagnesianos, pela presença de feldspatos potássico microclínico e intercrescimentos pertíticos e antipertíticos. Análises microscópicas revelam sua composição mineral, sobremodo dos intercrescimentos e da natureza não exclusivamente ferrífera dos opacos e minerais ferromagnesianos cedo formados, mais susceptíveis aos processos naturais de alteração. Observa-se a pequena presença de quartzo nos litotipos explorados, o que responde pela resistência ao impacto, baixa absorção de umidade, excelente fechamento no brilho, e baixa resistência à abrasão. A granulometria fina destes materiais é responsável de alterabilidade natural da rocha. O fraturamento intragrãos acontece nos locais com quartzo, graças à sua menor resistência ao impacto, inclusive durante o procedimento de extração de blocos e preparação e aparelhamento de chapas, o que traduz também em menores resistência à compressão do material. A textura com minerais essenciais subautomórficos como os cristais de K-feldspatos microclínicos, é responsável pelos aspectos estéticos e pelas propriedades mecânicas (baixas resistência à abrasão e à compressão) e índices físicos (densidade elevada, porosidade e absorção d'água elevadas) da correspondente rocha ornamental.

PALAVRAS-CHAVE: Marrom Imperial. Alterabilidade. Rochas ornamentais.

ABSTRACT

The Imperial Brown Granite, geologically a syenite, is commercially divided into three rock types differentiated by their plagioclase and ferromagnesian minerals contents, the presence of microclitic potassium feldspar and perthites and antiperthites intergrowths. Microscopic analyses reveal its mineral composition, greatly of intergrowths and of the nature not exclusively ferrous of the opaque and ferromagnesian minerals formed earlier, more susceptible to natural processes of change. It is noted the small presence of quartz in tested rock types, which accounts for impact resistance, low moisture absorption, excellent closing in brightness, and low abrasion resistance. The fine particle size of these materials is responsible for the natural alterability of the rock. The intragrain fracturing occurs in places with quartz, because of its lower impact resistance, even during the block extraction procedure and preparation and equipping of plates, which also translates into lower compressive strength of the material. The texture with essential subautomorphic minerals such as the microclitic K-feldspar, is responsible for the aesthetics and mechanical properties (low resistance to abrasion and to compression), and physical indexes (high density, porosity and higher water absorption) of the dimension stones.

KEY WORDS: Imperial Brown. Alterability. Dimension stones

1. INTRODUÇÃO

O uso das rochas ornamentais pela humanidade começou na aurora da civilização. Atualmente, a utilização de mármore e granitos na arquitetura moderna cresce a cada ano no mundo inteiro. A produção de rochas ornamentais, sua extração e beneficiamento tornaram-se uma indústria de grande expansão.

Segundo a NBR 15012/03, rochas para revestimento são rochas naturais que, submetidas a processos diversos e graus variados de desdobramento e beneficiamento, são utilizadas no acabamento de superfícies, especialmente em pisos e fachadas, em obras de construção civil. Essa definição pode ser considerada similar à que a American Society for Testing and Materials (ASTM, 2001) propõe para *dimension stone*: pedra natural que foi selecionada, regularizada ou cortada em tamanhos e formas especificados ou indicados, com ou sem uma ou mais superfícies

mecanicamente acabadas. Ou seja, é toda rocha natural-tratada/beneficiada (bruta, aparelhada, flamejada ou polida), utilizada no acabamento de superfície de obras civis.

As rochas ornamentais e de revestimento, também designadas pedras naturais, rochas lapídeas, rochas dimensionais e materiais de cantaria, abrangem os tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados através de esquadreamento, polimento, lustro etc. Seus principais campos de aplicação incluem tanto peças isoladas, como esculturas, tampos e pés de mesa, balcões, lápides e arte funerária em geral, quanto edificações, destacando-se, nesse caso, os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas, soleiras etc. (CHIODI FILHO, 1995).

Segundo Frascá (2003), pode-se fazer uma distinção entre rochas de revestimento e ornamentais, onde as primeiras seriam aquelas que foram submetidas a diversos processos e graus variados de desdobramentos e beneficiamento, sendo utilizadas no acabamento de superfícies, em especial pisos e fachadas; as ornamentais seriam aquelas submetidas a diferentes graus e tipos de beneficiamento ou aperfeiçoamento, utilizadas para exercer uma função estética. As duas grandes categorias comerciais de rochas ornamentais e de revestimento são os “granitos”, que comercialmente englobam rochas silicáticas (ígneas ácidas e intermediárias plutônicas/vulcânicas, charnockitos, gnaisses e migmatitos) e os “mármore”, comercialmente entendidos como qualquer rocha carbonática, tanto de origem sedimentar, como metamórfica, passível de polimento. Também são consideradas rochas ornamentais e de revestimento os travertinos, ardósias, quartzitos, conglomerados e outros (FRASCÁ, 2001).

Geralmente, a utilização das rochas como material ornamental se faz pelo seu padrão estético que lhe é conferido pelos constituintes mineralógicos, pela coloração, textura e estrutura da rocha.

As propriedades do material ornamental são fundamentalmente importantes na adequação ao uso nas obras de engenharia. O conhecimento da petrografia, dos índices físicos e das características mecânicas indica a melhor utilização para o material pétreo. A composição mineralógica/petrografia é tão importante que o conhecimento deste binômio pode orientar a aplicação da rocha: minerais ferromagnesianos sugerem a possibilidade de oxidação quando aplicados em ambientes úmidos; os feldspatos sofrem hidrólise na presença de intemperismo químico; a presença de quartzo garante resistência à abrasão em pisos de grande circulação. A alteração de minerais, observadas pelas lâminas petrográficas, indicam diminuição na resistência mecânica destas rochas. Assim, o presente trabalho analisa e relaciona as propriedades

petrográficas/mineralógicas dos três fácies do Granito “Marrom Imperial” com seus índices físicos e características mecânicas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 “Granito” Marrom Imperial

As amostras dos vários tipos do “granito” Marrom Imperial (placas polidas e blocos) foram adquiridas em marmorarias e obtidas na pedreira Minérios de Bom Jardim S/A. O litotipo estudado corresponde a um dos cinco maiores fácies do Complexo Bom Jardim, mapeado e classificado como sienito marrom muito grosso (SEG), por Guimarães & Silva (1992). O corpo rochoso do sienito Marrom Imperial ocorre sob a forma de lentes de mela-sienitos, pertencentes à Suíte Shoshonítica de idade Neoproterozóica (MENDES, 2002). Aflora nas localidades da Pedra do Navio e Fazenda das Pedras no município de Bom Jardim, inserido na mesorregião Agreste e na Microrregião Médio Capibaribe do Estado de Pernambuco. Este material é classificado geologicamente como sienito, porém neste trabalho a designação utilizada é a comercial, ou seja, os litotipos são denominados de “Granito” Marrom Imperial: Tradicional, Escuro ou Rosado.

Macroscopicamente, o “granito” Marrom Imperial (GMI) é heterogranular, exibe granulação média a grossa, com cristais variando de 0,4 a 3 cm, comumente exibindo iridiscência.

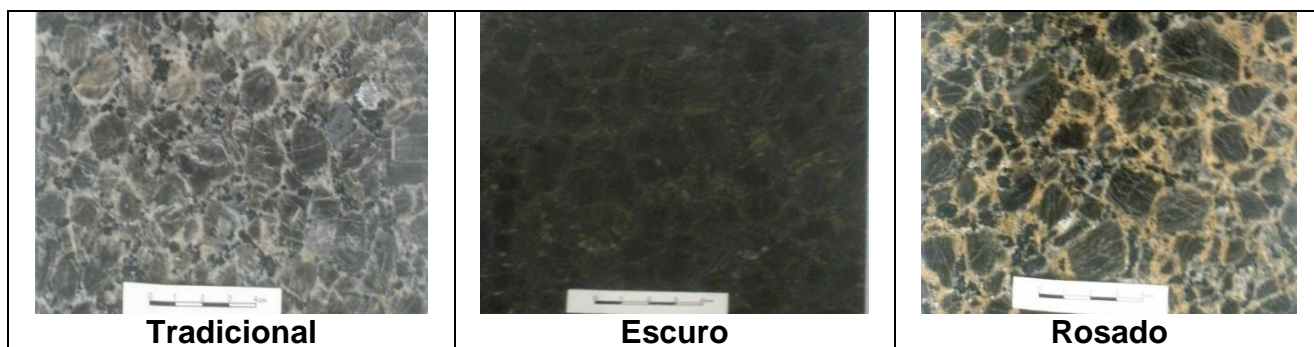


Figura 1- Aspectos macroscópicos em placas polidas dos tipos comerciais do GMI.

Apresenta-se em três tipos comerciais distintos, sendo o primeiro formado essencialmente por grandes cristais de feldspatos marrons com auréolas finas de coloração variando de branco a bege, formadas principalmente por minerais feldspáticos. Este tipo é classificado comercialmente como GMI tipo Tradicional; o segundo é formado por grandes cristais de feldspatos marrons com auréolas feldspáticas incipientes e/ou ausentes. Este tipo é classificado comercialmente como GMI tipo Escuro; e o terceiro é formado por grandes cristais de feldspatos marrons com auréolas

também feldspáticas de coloração variando de rósea a laranja, apresentando-se mais espessas quando comparadas com os demais tipos. Este último tipo é classificado comercialmente conhecido como GMI tipo Rosado. Estes três litotipos são mostrados na figura 1.

2.2. Análise Petrográfica

A análise fundamenta-se na observação de sessões delgadas das rochas com espessura de 30 μm ao microscópio óptico de luz transmitida, segundo as normas de caracterização petrográfica de rochas de revestimento (ABNT/NBR 15845 – ANEXO A). Foram confeccionadas e analisadas quatro lâminas petrográficas de cada tipo comercial do granito Marrom Imperial.

2.3. Índices Físicos

São designados índices físicos as propriedades de massa específica aparente (densidade) seca e saturada, que podem ser expressas nas seguintes unidades, g/cm^3 , kg/m^3 ou t/cm^3 , a porosidade aparente e a absorção de água, estas últimas expressas em percentuais (%). Estes índices definem relações básicas entre a massa e o volume das amostras de um determinado tipo de rocha. Os ensaios foram realizados segundo as normas NBR 15845, anexo B.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As primeiras contribuições a nível nacional para o setor de rochas ornamentais, a respeito da importância dos estudos petrográficos, foram feitas por Frazão & Farjallat (1995), Rodrigues *et al.* (1996) e Navarro (1998), que abordam de modo qualitativo a importância dos estudos petrográficos e do nível de informações detalhadas que são possíveis obter por meio dessa técnica, e com isso aprimorar a compreensão dos resultados tecnológicos, assegurando uma melhor aplicação da rocha.

Esse procedimento envolve o estudo dos constituintes mineralógicos das rochas ao microscópio petrográfico, considerando a mineralogia, a forma, dimensões e relações mútuas dos constituintes (textura), a alteração, etc. Os estudos mineralógicos e petrográficos são importantes para compreender melhor o comportamento textural-mineralógico das rochas em relação a algumas propriedades físico-mecânicas: valores dos índices físicos (massa específica, porosidade e absorção

d'água aparentes), resistência à compressão simples, resistência ao desgaste por abrasão, que são baseados na composição mineralógica e textura da rocha. Os litotipos estudados são denominados comercialmente como GMI, exibindo textura inequigranular-fanerítica, estrutura maciça e granulação fina a média. A observação em lâminas dos vários tipos do "Marrom Imperial" revela as seguintes informações relatadas na sequência.

O feldspato alcalino é o principal constituinte mineralógico, representado principalmente por grandes cristais de ortoclásio e subordinadamente por microclínio. São frequentemente circundados por grãos menores (auréolas) de feldspato alcalino, plagioclásio, minerais máficos e raramente quartzo. Estas auréolas de feldspato alcalino ocorrem principalmente nos tipos tradicional e rosado (mais espessa, daí o nome rosado), e tradicional, com menor espessura. No tipo escuro, as auréolas são incipientes e/ou ausentes. O plagioclásio é representado pela albita e oligoclásio ácido. Comumente ocorrem como hóspedes no feldspato potássico, formando pertitas em filetes e/ou chamas e também como hospedeiros em feldspato potássico, formando antipertitas. Apresentam-se também como grandes cristais ou como constituinte das auréolas. Fortes correlações entre $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}$ (todas com $R > 0,70$) refletem a presença de feldspatos potássicos (K-F), como principal mineral silicático destas fácies "comerciais" (RIBEIRO, 2011).

Os intercrescimentos contêm inúmeras inclusões de apatita, biotita, hornblenda, rutilo, turmalina e minerais opacos. Segundo Guimarães & Silva (1992), a coloração cinza-chumbo iridescente dos cristais feldspáticos, observada em amostra de mão é devido à presença das inúmeras inclusões aciculares de minerais opacos. Os minerais máficos estão representados pela biotita, piroxênio e anfibólio; titanita, apatita e opacos como acessórios e sericita, argilominerais e epidoto, como minerais secundários. A biotita ocorre comumente associada aos anfibólios e piroxênios. Costuma ser produto de alteração do anfibólio (hornblenda). Ocorre principalmente como inclusões nos feldspatos. O piroxênio (clinopiroxênio) é representado pela aegerina-augita. Exibe intensas microfissuras e avançado processo de alteração para anfibólio, o que indica o processo de uralitização.

O quartzo raramente ocorre e mostra-se anédrico com extinção ondulante, disposto em zonas concêntricas nos intercrescimentos. Foi observado apenas nos tipos Tradicional e Rosado. Há microfissuras inter e intragranulares preenchidas com produtos de alteração (sericita, argilominerais e/ou carbonatos). Os contatos entre os grãos são do tipo plano, quando entre cristais de feldspatos (predominantemente no tipo escuro) e côncavo-convexos, quando entre minerais máficos e félsicos. As alterações minerais variam de incipiente a moderada associadas

aos cristais de anfibólio, piroxênio e feldspatos, concentradas ora nas bordas ora no centro do grão e ao longo dos planos de clivagens. São representadas pela sericita, argilominerais, óxidos e hidróxidos de ferro.

A principal distinção entre os tipos comerciais do GMI é basicamente a proporção mineralógica, estado microfissural e a granulometria. (tabela 1).

Tabela 1 - Valores percentuais dos constituintes mineralógicos de cada tipo comercial do GMI.

Síntese dos parâmetros petrográficos observados (%)	Tipo Tradicional	Tipo Escuro	Tipo Rosado
Plagioclásio (albita e oligocásio ácido)+ Antipertita	25%	27%	24%
Feldspatos alcalinos (microclínio + ortoclásio) + Pertita	50%	42%	55%
Anfibólio (hornblenda)	12%	16%	8%
Biotita	4%	6%	4%
Piroxênio (aegerina-augita)	3%	3%	2%
Apatita	3%	3%	3%
Minerais opacos	2%	2%	3%
Titanita + Epidoto/ Quartzo	<1%	<1%	<1%
Sericita/ argilominerais/ carbonato	Incipiente a moderada	Incipiente a moderada	Incipiente a moderada
Estrutura	Maciça	Maciça	Maciça
Textura e variação média granulométrica	Inequigranular Feldspato 1:1 Intercresc 1:6	Inequigranular Feldspato 1:1 Intercresc 1:5	Inequigranular Feldspato 1:2 Intercresc 1:8
Frequência média de microfissuras em campo da objetiva de 4X	7/ 20mm ²	6/ 20 mm ²	10/20mm ²
Distância média entre as microfissuras mais próximas	Mín: 0,050 mm Máx: 3,0 mm	Mín: 0,075 mm Máx: 4,5 mm	Mín: 0,045mm Máx: 2,5 mm
Microfissuras intergranulares	45 %	60 %	35 %
Microfissuras intragranulares	55%	40 %	65 %

Observações dos constituintes mineralógicos da tabela 1 indicam que o tipo Escuro apresenta maiores percentuais de minerais máficos, que são aqueles que apresentam maiores densidades entre os minerais listados. Portanto, o tipo escuro deve apresentar seguramente o maior valor de massa específica entre os litotipos estudados, este valor garantido pela menor frequência/quantidade de fissuras. Este fato também assegura menor porosidade e absorção aparentes para este litotipo. Assim, com base na tabela, o tradicional e rosado apresentam massas específicas inferiores ao Escuro, sendo diretamente proporcional ao percentual de minerais

máficos e presença da quantidade de microfissuras: os índices físicos do Tradicional são superiores ao Rosado. Estas considerações são corroboradas pelos dados da tabela 2.

Tabela 2 - Média dos valores dos índices físicos dos tipos comerciais do “granito” Marrom Imperial.

Granito Marrom Imperial	Densidade (kg/m ³)	Porosidade (%)	Absorção de água (%)
Tradicional	2707	0,8101	0,2980
Escuro	2710	0,7550	0,2770
Rosado	2690	0,8245	0,3120

Segundo Fioretti (2007), a porosidade, a densidade (ou massa específica) e a absorção de água são os índices físicos de maior importância em rochas ornamentais. Existe uma grande interdependência entre eles, pois um dado tipo petrográfico será mais denso se sua porosidade for menor e, conseqüentemente, menor será sua capacidade de absorção de água.

Ao correlacionar os índices físicos às características descritas na tabela 1, observa-se que as variações mineralógicas, a existência ou não de microfissuras, relações de contato entre os grãos minerais, granulação, aspectos estruturais, alteração mineral, entre outras, influenciam diretamente sobre essas propriedades como afirma Fioretti (2007): esses parâmetros influenciam de diferentes formas as propriedades físico-mecânicas das rochas. Segundo Frazão e Farjallat (1995), quanto mais denso for um dado tipo de petrográfico, maior será sua resistência mecânica. Já alta porosidade resultará em baixas resistências mecânicas. A alta absorção levará à expectativa de uma baixa durabilidade e a uma progressiva diminuição de resistência mecânica ao longo do tempo, e ainda que as rochas com alta absorção apresentarão menores resistências quando no estado saturado. Fatores de ordem petrográfica podem afetar os índices físicos. Os principais são o estado microfissural e o grau de alteração da rocha que diminuem a densidade e aumentam a porosidade e a absorção de água. (Fioretti, 2007).

Assim, com relação às resistências mecânicas, compressão simples e desgaste por abrasão, a textura e presença de minerais de dureza elevada (como o quartzo) direcionam a qualidade da rocha. Assim considerando Fioretti (2007) e Frazão e Farjallat (1995), pode-se concluir que o tipo Escuro é aquele que apresenta menor frequência de fissuras o que se traduz em maior resistência à compressão, seguido pelo tipo Tradicional. A menor resistência à compressão é apresentada pelo tipo Rosado tendo em vista a maior frequência de microfissuras e também a maior variação granulométrica dos cristais. Quanto à resistência à abrasão, o litotipo que apresenta menor teor de quartzo, o Escuro, é aquele que sofrerá o maior desgaste por abrasão e, portanto, apresentará melhor qualidade de lustro por conta da ausência de quartzo e maior percentual de plagioclásio,

garantindo melhor “fechamento” quando do polimento das placas deste tipo de material rochoso. O Rosado e o Tradicional, pela maior quantidade de quartzo, resistirão melhor ao desgaste embora, pelo baixo teor de quartzo, não deverão ser aplicados em pisos de locais de grande circulação de pessoas.

O baixo teor de quartzo na rocha confere-lhe resistência ao impacto, baixa absorção de umidade e baixa resistência à abrasão. A presença do fraturamento intragrãos está nos locais com quartzo, graças à sua menor resistência ao impacto, podendo interferir durante o procedimento de extração de blocos, preparação e aparelhamento de chapas.

Contudo esta análise só deve ser considerada para o material são. Se processos de alteração são considerados, o que pode se esperar é que o material mais resistente, com maior massa específica e menores porosidade e absorção aparentes, o tipo Escuro, apresente perdas significativas nas características originais devidas aos processos de alteração dos minerais máficos e plagioclásios. Portanto, este material não se presta para o uso em situações de umidade constante e elevada. O conteúdo ferrífero, aliado à maior susceptibilidade de alterações, inclusive em ambiente natural, para os correspondentes hidróxidos e óxidos, responde, em suma, pelo aspecto diferenciado da rocha ornamental. A granulometria fina dos minerais responde pela susceptibilidade natural de alteração da rocha e pelo aspecto estético, decorrentes da sua textura, sendo a cor a característica mais singular. Quanto à textura, destaca-se a importância da presença de intercrescimentos pertíticos e antipertíticos e inclusões de opacos, piroxênios, micas, e apatita, como possível causa à cor marrom e, adicionalmente, para o fechamento do brilho e cintilância e parcial iridescência que caracteriza as chapas polidas da rocha.

4. CONCLUSÕES

Os vários tipos comerciais do “Granito” Marrom Imperial apresentam características físicas e mecânicas variáveis em função da composição mineralógica, textura e estado microfissural e de alteração. Entretanto, esta correlação deve apenas ser feita para materiais não alterados. A susceptibilidade de alteração é função principalmente de características intrínsecas das rochas como a composição mineralógica. Assim, o tipo Escuro, com maior teor de minerais ferromagnesianos, pode se alterar mais rapidamente, comprometendo as características físico-mecânicas, apesar de, inicialmente apresentar os melhores índices físicos. Diferentemente, o tipo Rosado, apresenta os piores índices físicos, entretanto, sua composição mineralógica (auréolas

mais espessas de microclina envolvendo plagioclásios) lhe confere maior resistência a processos intempéricos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM, 2001.

CHIODI FILHO, CID. 1995. **Aspectos técnicos e econômicos do setor de rochas ornamentais**. Rio de Janeiro: CNPq/CETEM. Série Estudos e Documentos, V.28. 75p.

FIORETTI, G. B., 2007 – **Influência do tipo de rocha no manchamento frente à umidade de revestimentos pétreos**. Trabalho de diplomação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Rio Grande do Sul, 98p.

FRASCÁ, M. H. B. O. 2003 - **Estudos experimentais de alteração acelerada em rochas graníticas para revestimento**. Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 264p.

FRASCÁ, M. H. B. O. 2001. Qualificação de rochas ornamentais e para revestimento de edificações: caracterização tecnológica e ensaios de alterabilidade. In: Simpósio. Brasileiro de Rochas Ornamentais, 2, Salvador, **Anais, 128-135**.

FRAZÃO, E. B., FARJALLAT, J. E. S. 1995 - **Características tecnológicas das principais rochas silicáticas brasileiras usadas como pedras de revestimento**. I Congresso. Internacional. de Pedra Natural. Lisboa. **1**: 47-58.

GUIMARÃES, I. P. & SILVA, A. F. 1992 - **Evolução Petroológica e Geoquímica do Complexo Bom Jardim, Pernambuco**. In Revista Brasileira de Geociências, vol.22 (Março), 14 p.

MENDES, V. A., PAIVA, I. P., FILHO, A. F. S. et. al, 2002. **Condicionamento Geológico das Ocorrências de Rochas Ornamentais das Folhas Garanhuns e Belém do São Francisco**. III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, Recife –PE.

NAVARRO, F. C. 1998 - **Granitos ornamentais: análise petrográfica na previsão do comportamento físico-mecânico**. In: CONGRESSO URUGUAYO DE GEOLOGIA, 2, Montevidéo, Actas Montevidéo, 1998, p. 103-107.

NBR 15012/03; NBR 15845 – anexo A e anexo B.

RIBEIRO, W. J. .M., 2011 - **Estudo comparativo de alterabilidade acelerada de três fácies comerciais do sienito Marrom Imperial**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mineral. Universidade Federal de Pernambuco, 129 p.

RODRIGUES E. P.; COUTINHO, J. M. V., CHIODI FILHO, C. 1996 - **Petrografia microscópica: uma visão do passado, presente e futuro da rocha ornamental**. São Paulo: Rochas de Qualidade. n. 127, p. 80-84.

GUIA PRÁTICO DE USOS DE ROCHAS PARA REVESTIMENTOS

Jones F. Cabral¹, Felisbela M. C. Oliveira², Lucila E. P. Borges³, Patrícia O. B. Morais⁴
^{1,2,3} Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco
⁴ Graduanda em Engenharia civil, UPE.
jonesufpe@hotmail.com

RESUMO

As rochas ornamentais são materiais que agregam valor através de padrão cromático, desenho, textura e granulação. As principais rochas utilizadas incluem mármore, travertino, granito, ardósia, quartzito, pedra sabão, etc. Os “granitos” correspondem cientificamente às rochas ígneas e metamórficas de granulometria grossa compostas principalmente de minerais félsicos. Enquanto os mármore resultam do metamorfismo de calcários e dolomitos. O uso e aplicação das rochas ornamentais e de revestimento baseiam-se no conhecimento de suas propriedades físicas e mecânicas, na sua composição mineralógica, textura, grau de microfissuramento e porosidade. Assim, nesta pesquisa foi elaborado um guia prático de aplicação de rochas ornamentais para seu uso notadamente como revestimentos, internos e externo, áreas secas e úmidas, pisos e paredes. Foram relacionados litotipos “graníticos e carbonáticos comercializados e usados como revestimentos na Região Metropolitana do Recife, PE. A partir destes dados elaborou-se guia prático de uso voltado para os profissionais da Arquitetura e áreas afins. Também informações sobre o ambiente no qual a rocha será aplicada é considerada sobre a decisão da escolha da mesma: ambientes quentes e úmidos são naturalmente mais propícios para a decomposição dos minerais constituintes da rocha; regiões de climas secos e quentes induzem a ciclos de dilatação/contração, o que finda por quebrar a rocha; locais de grande circulação de pessoas tais como saguões de aeroportos, centro de compras, supermercados requerem litotipos cujos constituintes mineralógicos apresentem dureza elevada. Os índices físicos e resistências mecânicas da maioria desses materiais se adéquam aos valores estabelecidos nesta norma: densidade mínima, 2550 kg/m³, porosidade máxima 1,0%, absorção máxima 0,4%; para as propriedades mecânicas, a resistência à compressão mínima é de 100 MPa; a resistência à flexão em três pontos é no mínimo 10,0 MPa e o desgaste Amsler máximo, aos 1000m de percurso, 1,0 mm. A seleção de materiais rochosos, para uso em revestimentos, deve passar por uma prévia caracterização tecnológica, envolvendo ensaios e análises que permitam conhecer suas propriedades físicas,

físico-mecânicas e petrográficas, uma vez que estes materiais são de natureza diversificada e, por consequência, as suas propriedades também apresentam valores diferenciados. A alteração de uma rocha traduz a sua adaptação a um determinado ambiente geológico diferenciado daquele onde ela foi formada.

PALAVRAS-CHAVE: trabalho, resumo, simpósio.

ABSTRACT

Ornamental rocks are materials that add value through chromatic pattern, design, texture and grainulation. The main rocks used include marble, travertine, granites, slate, quartzite, soapstone, etc. "Granites" scientifically correspond to igneous and metamorphic rocks of coarse granulation composed mainly of felsic minerals. While marbles result from metamorphism of limestone and dolomite. The use and application of ornamental and coating rocks are based on knowledge of its physical and mechanical properties, mineralogical composition, texture, degree of microcracking, and porosity. Thus, this research has produced an application practical guide of ornamental rocks for use especially as coatings, internal and external, wet and dry areas, floors and walls. There were related granitic and carbonate rock types commercialized and used as coatings in the Metropolitan Region of Recife, PE. From this data, it was elaborated a user's practical guide focused on architecture professionals and related fields. Also information about the environment in which the rock will be applied is important on the decision of choosing the rock type: warm and humid environments are naturally more conducive to the decomposition of the rock constituent minerals; dry and warm climates regions induce dilation cycles/contraction, which breaks the rock; places where large amount of people move, such as airport lounges, shopping centers, and supermarkets, require rock types whose mineralogical constituents exhibit high hardness. Physical and mechanical strength indices of most of these materials fit the standard values: minimum density 2550 kg/m³, maximum porosity 1.0%, maximum absorption 0.4%; for mechanical properties, minimum resistance to compression is 100 MPa; flexural strength at three points is at least 10.0 Mpa, and maximum Amsler wear, at the distance of 1000m, is 1.0 mm. The selection of rocky materials used in coatings must undergo a preliminary technological characterization, involving tests and analyzes to meet their physical, physico-mechanical, and petrographic characteristics, since these materials are diverse in nature and, therefore, their properties also

have different values. Changing a rock reflects its adaptation to a particular differentiated geological environment from which it was formed.

KEYWORDS: paper, abstract, symposium.

1. INTRODUÇÃO

Rochas podem ser definidas como corpos sólidos naturais, formados por agregados de minerais. As rochas ornamentais e para revestimento, também designadas pedras naturais, rochas lapídeas, rochas dimensionais e materiais de cantaria, compreendem os materiais geológicos naturais que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados por meio de esquadreamento, polimento, lustro, etc. Seus principais campos de aplicação incluem tanto o emprego em peças isoladas, como esculturas, tampos e pés de mesa, balcões, lápides e artefatos de arte funerária em geral, quanto em edificações, destacando-se, nesse caso, os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas, soleiras, etc. As rochas ornamentais e para revestimento são basicamente subdivididas em granitos e mármore, mas também existem outros tipos litológicos que são os quartzitos, serpentinitos, travertinos, calcários e ardósias.

1.1. Rochas ornamentais silicáticas

Para o setor de rochas ornamentais e de revestimento o termo rochas silicáticas é utilizado quando se refere aos granitos. Essas rochas são formadas basicamente de quartzo, feldspato, micas e anfibólios, que são considerados minerais dominantes, mas podem aparecer outros minerais em quantidades inferiores, esses denominados de minerais acessórios. A olho nu, podem-se reconhecer as características de alguns minerais dominantes: o quartzo, mineral, fumê, incolor ou translúcido; os feldspatos que são os minerais que auxiliam na definição de cor da rocha, podendo ser encontrados nas cores avermelhada, rosada, creme-acinzentada, verde, entre outras não muito comuns; anfibólios e micas são os minerais que dão a coloração escura por serem ferro magnesianos. Algumas das características básicas das rochas silicáticas, neste caso graníticas, são: estrutura maciça; granulometria geralmente grosseira e compacta; elevada dureza devido à presença de quartzo e feldspatos, o que proporciona alta resistência ao desgaste abrasivo e a arranhões; elevada densidade; baixa absorção e porosidade.

1.2. Rochas ornamentais carbonáticas

As rochas carbonáticas referem-se aos calcários e mármore; esses são caracterizados pela presença de minerais carbonáticos com graus variados de recristalização metamórfica. A maior parte das rochas carbonáticas tem origem química e biológica, ou seja, formadas em ambientes onde a presença da água era elevada, em lagos, ambientes marinhos, e pela deposição de conchas e esqueletos de outros organismos que podem preservar sua estrutura ou não, dependendo do grau de metamorfismo. Algumas características básicas das rochas ornamentais carbonáticas são: estrutura maciça; granulométrica variada; dureza baixa (devido à dureza dos minerais carbonáticos que não ultrapassa 4 na Escala de Mohs) muito inferior ao granito o que se traduz pela baixa resistência ao desgaste abrasivo e arranhões; menor densidade que os granitos; absorção e porosidade relativamente altas.

2. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Atualmente, as rochas ornamentais estão entre os principais materiais para a construção civil. A versatilidade em seu uso, associado ao desconhecimento das características físico-mecânicas das rochas, tem propiciado o uso equivocado e inadequado destes materiais o que pode diminuir significativamente a vida útil do mesmo ou até a sua troca imediata. Os ensaios tecnológicos em rochas para revestimento envolvem diversos procedimentos laboratoriais com o objetivo de ser obter parâmetros químicos, físicos, mecânicos e petrográficos que orientarão a escolha e a aplicação correta dos materiais na construção civil, considerando o local de aplicação deste revestimento. Normalmente esta caracterização é feita seguindo as normas da ABNT e, se necessário, as normas ASTM, americanas.

2.1. ÍNDICES FÍSICOS (DENSIDADE, POROSIDADE E ABSORÇÃO)

Os índices físicos avaliam as propriedades relacionadas à densidade (kg/m^3), porosidade aparente (%) e absorção d'água (%). A densidade permite fazer inferências sobre a resistência físico-mecânica e também calcular com precisão o peso individual do material no projeto da edificação. A porosidade está relacionada inversamente à resistência físico-mecânica da rocha, ou seja, quanto maior a porosidade menor a resistência físico-mecânica da rocha. Por fim a absorção

d'água indica a possibilidade de infiltração de líquidos na rocha e se relaciona diretamente com a porosidade: quanto maior a porosidade, maior a absorção de líquidos pelo material. Os índices físicos são determinados a partir do uso da NBR 15845 – Anexo B. A NBR 15844 especifica para densidade, porosidade e absorção os seguintes valores, 2.500 Kg/m³, 1,0% e 0,40 % respectivamente.

2.2. DESGASTE AMSLER

O ensaio de desgaste Amsler indica claramente a redução de espessura (mm) que as placas da rocha apresentam após um percurso abrasivo que ocorre na Máquina de desgaste Amsler. O abrasivo utilizado é essencialmente areia e procura simular o atrito devido ao tráfego de pessoas ou veículos. Este teste é importantíssimo para a escolha de rochas que irão revestirem pisos. Pela NBR 15844, o valor máximo permitido para este item é 1,00mm, para percursos de 1.000m.

2.3. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

Este ensaio mede a tensão (MPa) necessária para provocar a ruptura da rocha, quando submetida a esforços compressivos. O objetivo principal é avaliar a resistência da rocha quando utilizada como elemento estrutural e dessa forma obter uma indicação da integridade física e robustez da rocha, que é essencial para todas as possíveis aplicações de uma rocha de revestimento. Este procedimento é normalizado pela NBR 15845 – anexo D. A NBR 15844 especifica como valor mínimo 100 MPa.

2.4. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Este ensaio determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços flexores. Neste caso é possível avaliar sua aptidão para uso em revestimento, ou elemento estrutural, sendo assim uma indicativa de sanidade e robustez da rocha. Os valores indicam a tensão máxima de flexão que a rocha suporta e influencia no cálculo da espessura e dimensões das placas. Existem dois tipos de ensaios de resistência à flexão: em três ou em quatro pontos, sendo este último particularmente importante para dimensionamento de placas no revestimento de fachadas com uso de sistema de ancoragem metálica para a sua fixação. A

determinação da resistência à flexão é normatizada pela NBR 15845 no seu anexo - C. A NBR 15844 indica que os valores mínimos de resistência à tração para dois pontos é 10,0 MPa e 8,0 MPa no caso de quatro pontos.

3. ROCHAS ORNAMENTAIS MAIS USADAS NOS REVESTIMENTOS DO RECIFE.

O Recife é a capital de Pernambuco, localizada no Nordeste do país. A cidade possui 218km² e uma população de aproximadamente 1,6 milhões de habitantes. É banhado pelo Oceano Atlântico e também possui muitos rios e canais que cortam a cidade. Seu clima é tropical úmido o que, juntamente com as bacias hidrográficas e drenagem, asseguram à cidade, umidade elevada e temperatura alta o ano inteiro o que potencializa as ações intempéricas sobre as rochas de revestimento. Nesta pesquisa foram realizadas visitas a várias marmorarias da cidade para estimar as rochas mais vendidas e, portanto, mais ao gosto de recifense. Assim este trabalho busca informar aos consumidores, arquitetos, engenheiros e designers as características da rocha, indicando, por conseguinte a melhor otimização para sua utilização. Observou-se que os granitos e os mármore são as chapas e peças que possuem maior destaque entre as rochas ornamentais.

3.1. GRANITOS

3.1.1. Granito Amarelo Icarai

Este granito é de originário do estado do Espírito Santo. Seus dados técnicos apontam que esta rocha apresentará uma maior vida útil sendo utilizada em revestimentos interiores de paredes, divisórias, escadas e em pavimentos de baixo tráfego. Já em pavimentos com grande tráfego de pessoas é contraindicada pelo elevado desgaste amsler. Para revestimentos externos, a rocha deixa de ser uma boa escolha porque apresenta alta porosidade e baixa resistência a flexão, como mostrado na tabela 1.

3.1.2. Granito Branco Cristal

Originário do Ceará, segundo suas propriedades tecnológicas este litotipo apresentará maior durabilidade em revestimentos exteriores de paredes, pias de banheiro, escadas, pavimentos em

geral e bancadas devido aos valores compatíveis dos índices físicos, desgaste amsler e resistência à compressão e tração, segundo a NBR 15844 (tabela 1).

3.1.3. Granito Branco Siena

Este granito é sendo extraído no estado do Espírito Santo. Seus dados técnicos (tabela 1) indicam que esta rocha apresentará maior durabilidade se utilizada em revestimentos interiores de paredes, divisórias, pisos, escadas e em pavimentos de baixo tráfego. Apesar de possuir uma ótima resistência à flexão e ser comum o uso desta peça em pias de banheiros e cozinha, seu uso nestes locais não são recomendados, pois apesar desta rocha apresentar porosidade compatível com a NBR 15844 (<1,0%), sua composição mineralógica apresenta granadas que oxidam facilmente em ambientes úmidos, e se não houver cuidado, em pouco tempo a rocha perderá sua cor e seu brilho, deixando a peça com um tom amarelado nada agradável.

Tabela 1. Características físicas e tecnológicas dos granitos Amarelo Icarai, Branco Cristal e Branco Siena.

Características físicas e tecnológicas	Granitos		
	Amarelo Icarai	Branco Cristal	Branco Siena
Massa específica (kg/m ³)	2633	2614	2640
Índice de desgaste Amsler (mm)	1	0,40	0,80
Absorção d'água (%)	0,37	0,16	0,26
Porosidade (%)	0,98	0,42	0,70
Resistência à compressão simples (MPa)	127,20	115,30	113,70
Resistência à tração por flexão (MPa)	6,72	17,70	15,11

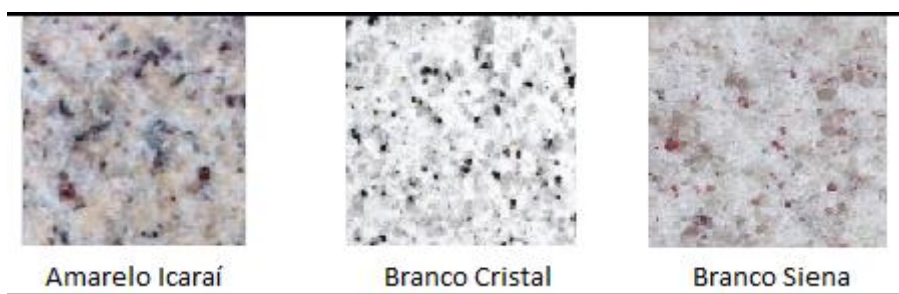


Figura 1. Aspectos visuais dos granitos Amarelo Icarai, Branco Cristal e Branco Siena.

3.1.4. Granito Marrom Imperial

Oriundo de Pernambuco, este granito apresenta índices físicos excelentes segundo a NBR 15844 (tabela 2). Entretanto, devido à presença de plagioclásios e minerais ferro-magnesianos em sua composição mineralógica, esta rocha apresentará maior vida útil se usada em revestimentos interiores de paredes, pisos, bancadas secas, mesas e escadas.

3.1.5. Granito Preto São Marcos

Extraído na Paraíba, de acordo com seus dados técnicos (tabela 2), esta rocha apresentará maior durabilidade se utilizada em revestimentos interiores e exteriores de paredes, pias, bancadas, mesas. Por apresentar elevado desgaste Amsler o uso em pisos torna-se desaconselhável. Contudo atenção deve ser dada à sua composição mineralógica por se tratar de uma rocha gabróide.

3.1.6. Granito Verde Ubatuba

Originário de Ubatuba, estado de São Paulo, seus dados técnicos (tabela 2), esta rocha não deverá ser utilizada em locais de umidade elevada por conta dos valores de porosidade e absorção. Quanto às resistências, elas indicam que esta rocha pode ser aplicada com suportes metálicos em fachadas.

Tabela 2. Características físicas e tecnológicas dos granitos Marrom Imperial, Preto São Marcos e Verde Ubatuba.

Características físicas e tecnológicas	Granitos		
	Marrom imperial	Preto São Marcos	Verde Ubatuba
Massa específica (kg/m ³)	2700	2902	2727
Índice de desgaste Amsler (mm)	0,40	1,41	n.d
Absorção d'água (%)	0,29	0,10	0,40
Porosidade (%)	0,77	0,28	1
Resistência à compressão simples (MPa)	78,47	131,67	149
Resistência à tração por flexão (MPa)	11,83	19,28	11,4



Figura 2. Aspectos visuais dos granitos Marrom Imperial, Preto São Marcos e Verde Ubatuba.

3.2. Mármorees

3.2.1. Mármore branco ralado

Extraído no Espírito Santo, esta rocha apresentará, de acordo com suas propriedades físico-mecânicas (tabela 3), maior durabilidade quando utilizada em ambientes internos, pisos e escadas de muito baixo tráfego, paredes, divisórias, e mesas, desde que não haja umidade. Há quem use em bancadas e paredes de banheiros, mediante impermeabilização que, nem sempre, se mostra eficiente; mas deve ser evitada no piso do box. Outro ambiente de aplicação restrita é a cozinha: não tendo resistência contra ácidos, pode adquirir manchas e perda de brilho em contato com produtos como vinagre, limão ou materiais de limpeza. Nas áreas externas deve ser evitado porque o material se desgasta com a poluição e a chuva ácida.

3.2.2. Mármore Pinta Verde

Oriundo do Espírito Santo, esta rocha apresentará, segundo seus dados técnicos (tabela 3), maior vida útil se usada em ambientes internos, em pisos e escadas de muito baixo tráfego, paredes, divisórias e mesas. Em banheiros, pode ser usada nas bancadas impermeabilizadas e paredes, mas deve ser evitada no piso do Box, assim como o litotipo anterior, por se tratar de rochas carbonáticas. Nas cozinhas também é desaconselhado o uso do Pinta Verde, pois não tendo resistência contra ácidos, pode adquirir manchas e perda de brilho em contato com produtos como vinagre, limão ou materiais de limpeza. Como revestimento externo, deve ser evitado porque o material se desgasta com a poluição e a chuva ácida.

3.2.3. Mármore Travertino Bege Bahia

Este mármore é extraído em Ouro Branco, Bahia. Os dados técnicos, constantes da tabela 3, indicam que o uso desta rocha é desaconselhado em revestimentos externos, áreas úmidas tais como banheiros, bancadas e pias de cozinha. Entretanto se usada em revestimentos internos de paredes, escadas e pisos com baixo tráfego de pessoas apresentará maior durabilidade. Trata-se de material sedimentar, algálico, de matriz com textura micrítica e grãos centimétricos. Como todo material carbonático pode ser solubilizado pela água notadamente se esta for acidificada como é o caso das chuvas ácidas cujo $\text{pH} < 5,6$. A ação das chuvas dissolve os materiais carbonáticos solubilizando seus minerais, lixiviando e, às vezes, possibilitando a formação de minerais com a gipsita, originária da combinação com o SO_2 atmosférico.

Tabela 3. Características físicas e tecnológicas dos mármore Branco Rajado, Pinta Verde e Travertino Brasil.

Características físicas e tecnológicas	Mármore		
	Branco rajado	Pinta verde	Travertino Brasil
Massa específica (kg/m ³)	2853	2855	2606
Índice de desgaste Amsler (mm)	8,08	6,92	1,31
Absorção d'água (%)	0,08	0,06	1,01
Porosidade (%)	0,23	0,17	2,62
Resistência à compressão simples (MPa)	84,80	86,40	137,30
Resistência à tração por flexão (MPa)	13,29	13,04	16,65

**Figura 3.** Aspectos visuais dos mármore Branco Rajado, Pinta Verde e Travertino Brasil.

4. CONCLUSÕES

As rochas ornamentais dividem-se em dois grandes grupos do ponto de vista comercial: granitos e mármore. Os granitos apresentam composição majoritariamente silicática e os mármore são constituídos de minerais carbonáticos, metamorfizados ou não. Os granitos podem ser usados indiscriminadamente em quase todas as funções, paredes, pisos, áreas secas e molhadas. Os mármore apresentam características físico-mecânicas inferiores aos granitos sendo usados de forma mais restrita: devem ser evitados em pisos de alta trafegabilidade e áreas molhadas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MELLO, Ivan Sergio de Cavalcanti; CHIODI FILHO, Cid; CHIODI, Denize Kistemann. **Atlas de rochas ornamentais da Amazônia brasileira**. São Paulo: CPRM, 2011. 301 p. il. color. Projeto Consolidação e Sustentabilidade da Produção de Rochas para revestimento na construção civil da região Amazônica.

SARDOU FILHO, Ruben; MATOS, Gerson Manoel M.; MENDES, Vanildo Almeida; IZA, Edgar R. H. de Figueiredo. **Atlas de rochas ornamentais do estado do Espírito Santo**. Brasília: CPRM, 2013. Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado do Espírito Santo.

OLIVEIRA, F. M. C.; KÁLIX, T. M. F.; BARROS, M. L. S. C.; MELO, E. B.; MORAIS, P. O. B. **ROCHAS ORNAMENTAIS SILICÁTICAS DO ESTADO DE PERNAMBUCO**. Revista Holos, ano 2012.

SOSSAI, Fabiano Jerônimo Moreira. **Caracterização Tecnológica De Rochas Ornamentais**. Viçosa: UFV, 2006. Xii, 87f. : il. col; 29cm.

INFLUÊNCIA DA POROSIDADE NO USO DE QUARTZITOS COLORIDOS DO SERIDÓ PARAIBANO

Rayane de Lima Cirilo¹, Elissandra Nascimento de Moura², Fabrício Fernandes Vieira³

¹ Graduanda em Engenharia de Minas na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG),

² Geóloga, professora na Unidade Acadêmica de Minas e Geologia e Programa de Pós-Graduação em Exploração Petrolífera e Mineral (PPEPM) -UFCG

³ Engenheiro Geólogo, Mestrando no PPEPM-UFCG

rayanne_cirillo@hotmail.com

RESUMO

A mineração de rochas ornamentais, minerais industriais e gemas é intensa no Seridó (PB e RN), que está geologicamente inserido na Província Pegmatítica da Borborema, encaixada em rochas paraderivadas da Faixa Seridó, Domínio Rio Grande do Norte da Província Borborema. Os quartzitos do Seridó Paraibano são distribuídos em camadas originalmente horizontais, ou basculadas verticalmente, com espessuras decimétricas a métricas de cores variadas. O objetivo deste trabalho é determinar, a partir de análises petrofísicas, a variação da porosidade entre os quartzitos nas cores: amarelo, azul, branco, cinza, rosa claro, rosa escuro e verde. A partir dos resultados, obtidos poder-se-á otimizar o uso dessa rocha ornamental, indicando a utilização mais adequada das diferentes cores para cada variedade. Com este fim, foram realizados ensaios das amostras. Estas foram coletadas nas frentes de lavra de Serra do Poção, município de Várzea-PB e de Serra da Carneira, município de Junco do Seridó-PB. Plugues das amostras foram submetidos à secagem por 24 horas sob temperatura constante de 80°C em uma estufa. Em seguida, foram pesados em uma balança eletrônica de precisão e realizadas as medições de suas dimensões, comprimento e diâmetro, com o auxílio de um paquímetro digital. Posteriormente foi realizado o ensaio no porosímetro a gás. O equipamento utilizado foi o UltraPoroPerm 500, fabricado pela Corelab, que utiliza o método da porosimetria por expansão gasosa. Com o uso de um copo matriz mede-se o volume de grãos do plugue. A diferença entre o volume de grãos e o volume total do plugue, consiste no seu volume de vazios. Para calcular a porosidade calculou-se a razão entre o volume de vazios e o volume total. Segundo o julgamento intuitivo dos lavradores, os diferentes quartzitos

coloridos apresentam aparentemente uma porosidade maior ou menor em relação aos demais. No entanto as análises laboratoriais retificaram algumas dessas percepções. Na ordem decrescente de porosidade dos quartzitos coloridos, tem-se: rosa escuro (19,7%), azul (11%), verde (9,8%), Amarelo (7,2%), rosa claro (5,1%), branco (2,9%) e cinza (2%). Estes resultados ajudam na compreensão das diferentes resistências dos quartzitos coloridos, o que serve de base para o uso adequado de cada tipo, seja como piso ou como revestimento interno ou externo. As cores menos porosas são mais resistentes, portanto são mais indicadas ao uso como revestimento externo ou piso. As cores mais porosas são mais adequadas como revestimento, especialmente interno.

PALAVRAS-CHAVE: quartzito colorido, porosidade, petrofísica.

ABSTRACT

The mining ornamental stone, industrial minerals and gemstones is intense in Seridó (PB and RN), which is geologically inserted in Pegmatitic Borborema Province, embedded in rocks paraderivadas the Seridó Belt, Domain Rio Grande do Norte Borborema Province. The quartzite Paraibano Serido are distributed originally horizontal layers, or tilted vertically with thicknesses Decimetre the varied colors metrics. The objective of this study is to determine, from petrophysical analysis, the variation of porosity between the quartzite in the colors: yellow, blue, white, gray, light pink, dark pink and green. From the results obtained it may optimize the use of this ornamental rock, indicating the most appropriate use of different colors. For this purpose, samples from the trials were conducted. These were collected in the mining fronts Sierra of Poção, Várzea-PB and Sierra of Carneira, Junco municipality of Seridó-PB. The samples were dried for 24 hours under constant temperature of 80 ° C in a greenhouse. Then they were weighed on an electronic scale of precision and the measurements of its size, length and diameter, with the aid of a digital caliper. Later it performed the test on the gas porosimeter. The equipment used is UltraPoroPerm 500, manufactured by Corelab, which uses the method of expansion by gas porosimetry. Using a glass matrix measuring the volume plug grains. The difference between the grain volume and the total volume of the plug is in its void volume. To calculate the porosity was calculated the ratio between the void volume and total volume. According to the intuitive judgment of the farmers, different colored quartzite apparently have a higher or lower porosity than the other. However, the laboratory analysis rectified some of these perceptions. In order of decreasing porosity of colored quartzite, we have: dark pink

(19.7%), blue (11%), green (9.8%), Yellow (7.2%), light pink (5.1 %), white (2.9%) and ash (2%). These results help in understanding the different resistances of colored quartzite, which is the basis for the proper use of each type, either as a floor or as an internal or external coating. The less porous colors are more resistant, so are more suitable for use as outer covering or floor. The more porous colors are more suitable as a coating, in particular within.

KEYWORDS: quartzite colorful, porosity, petrophysical.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

O quartzito é uma rocha metamórfica composta majoritariamente (75%) de sílica e de outros minerais silicáticos. É encontrado com diferentes características físicas no Seridó Paraibano, especialmente nos municípios de Várzea e de Junco do Seridó. Como rocha ornamental, uma das características físicas que mais torna a rocha atrativa é sua cor. Essa propriedade física pode ser também chamada de característica estética da rocha. “O aspecto estético é o primeiro fator que chama a atenção para a possibilidade comercial de um material. De fato, o mercado de rochas prioriza a estética, colocando outras características (frequentemente de forma incorreta) em segundo plano. Por outro lado, a estética constitui em geral, o elemento de caracterização de uma determinada variedade de material, usado a princípio com uma função ornamental e em alguns poucos casos como um elemento estrutural legítimo.” (Vidal, Azevedo e Castro, 2014). Como citado, a aparência da rocha, principalmente quanto a sua cor, é o critério mais usado para a escolha da aplicação no quartzito, de forma que outras propriedades físicas texturais e estruturais importantes para o uso eficiente da rocha são esquecidas.

A cor, segundo Vidal, Azevedo e Castro 2014, depende da composição química dos minerais constituintes e de seu estado de alteração. Ela é, em geral, o mais importante aspecto estético, a ponto de decidir a possibilidade comercial de uma rocha em detrimento de outros parâmetros. No entanto, outras propriedades não devem ser ignoradas, como por exemplo a porosidade, que pode influenciar o grau de alteração e de resistência mecânica da rocha.

A porosidade de um material é definida pela porcentagem de espaços vazios existentes em uma rocha quando comparada com seu volume total (SUGUIO, 2003). Assim, a análise desta

propriedade na rocha, nos faz compreender características da mesma, entre estas, a facilidade ou não da absorção de fluidos. Os quartzitos usados como piso ou revestimento podem estar frequentemente em contato com água, sejam com águas pluviais na área externa ou ainda em área molhadas de uma edificação, como área de lazer e banheiros. Essa interação com a água pode alterar cor e resistência da rocha.

1.2 Objetivos

Os quartzitos coloridos de Várzea e Junco do Seridó (PB) apresentam diferentes níveis de porosidade. E isso faz com que alguns quartzitos de determinadas cores sejam mais apropriados para áreas externas ou internas.

Sabendo disso, o objetivo do presente trabalho é a determinação dessas diferentes porosidades através de análises petrofísicas e, a partir dos resultados obtidos, sugerir o uso mais eficiente dessa rocha ornamental em distintos ambientes.

2. GEOLOGIA

2.1 Contextualização Regional

A área desse estudo está localizada no Seridó (PB e RN), que está geologicamente inserido na Província Pegmatítica da Borborema, encaixada em rochas paraderivadas da Faixa Seridó, Domínio Rio Grande do Norte da Província Borborema (Figura 1). A Faixa Seridó é limitada ao norte pelos sedimentos fanerozoicos da Bacia Potiguar, ao sul pelo Lineamento Patos, a leste pelo Maciço São José do Campestre (MJC) e a oeste pelo Maciço Rio Piranhas (RP). Litoestratigraficamente, compreende o Complexo Serra dos Quintos (xistos, gnaisses, metamáficas e mármore); o Complexo Serrinha–Pedro Velho (biotita ortognaisses, biotita hornblenda migmatitos e anfibolitos); a Suíte Várzea Alegre (ortognaissestonalíticos-granodioríticos); o Grupo Seridó (Neoproterozoico) com a Formação Jucurutu (paragnaisses a biotita, epidoto e anfibólitos, cálcio-silicáticas e itabiritos), a Formação Equador (quartzitos com níveis de metaconglomerados) e a Formação Seridó (biotita-xistos, mármore, quartzitos, anfibolitos e skarnitos), além de coberturas areno-argilosas cenozoicas.

10 a 13 abril de 2016, João Pessoa - PB

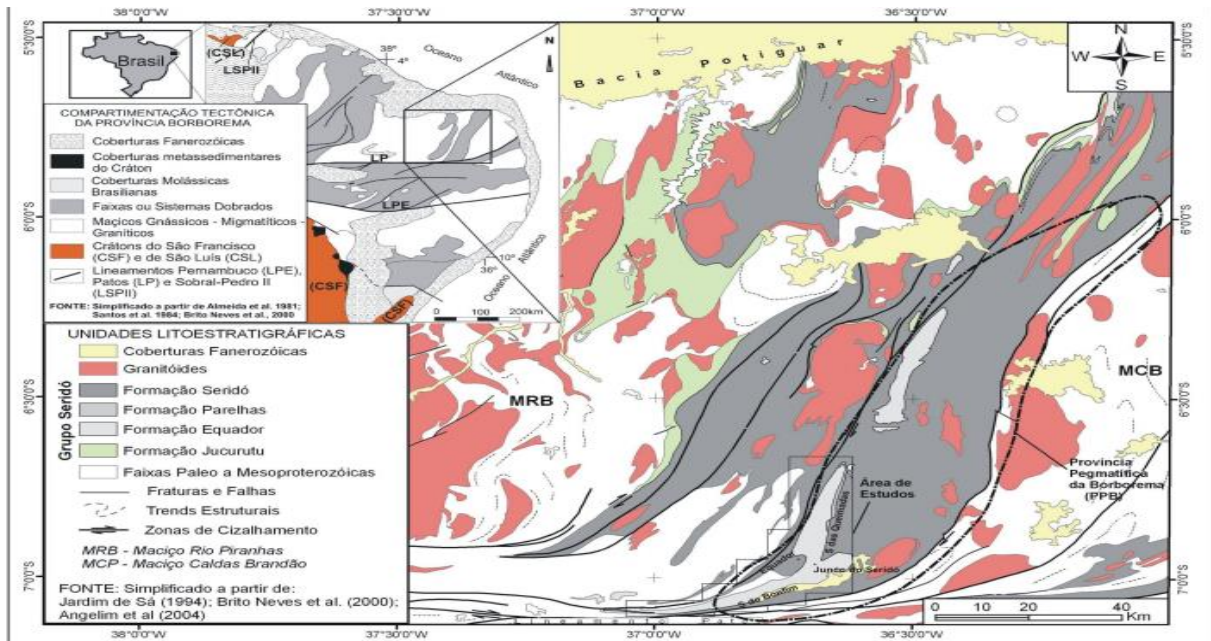


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo no contexto da Geologia Regional. **Fonte:** Silva e Crósta, 2011.

2.2 Características dos afloramentos

Para as análises petrofísicas foram coletadas amostras nas frente de lava das pedreiras paraibanas de Serra do Poção, em Várzea (Figura 2) e Serra da Carneira, em Junco do Seridó (Figura 3).



Figura 2 - Frente de lava da Serra do Poção, Várzea-PB.



Figura 3 – Frente de lavra da Serra da Carneira, Junco do Seridó-PB.

Na Serra do Poção há predominância de Quartzitos nas cores Amarelo, Azul, Branco e Cinza pertencentes a camadas métricas e inclinadas que variam 1 a 7 metros. Na Serra da Carneira prevalecem a variação de tons de rosa e verde com camadas pouco inclinadas que variam de 20 centímetros a 1 metro. Contendo em algumas camadas de coloração esverdeada a presença de veios de quartzo de formato *augen*, variando de 0,5 a 2 centímetros. Os quartzitos desse ponto também apresentam outra característica, em sua composição há presença elevada de minerais micáceos dando à rocha uma maior “foliação”.

3. METODOLOGIA DE TRABALHO

As amostras brutas (Figura 4) coletadas nas frentes de lavra das pedreiras de Serra do Poção e Serra da Carneira, em Junco do Seridó para a análise petrofísica foram submetidas a preparos em laboratórios. Elas foram moldadas à forma cilíndrica, com dimensões de uma polegada e meia de diâmetro e aproximadamente duas polegadas de altura (Figura 5), sendo necessária para esse preparo o processo de serragem, a extração da plugadeira de bancada e a retificação.

No laboratório de Petrofísica da Universidade Federal de Campina Grande, LabPetro, estes plugues foram para o processo de secagem, uma vez que o ensaio de porosidade a ser realizado requer que as amostras estejam secas. A secagem é feita em uma estufa num período de 24hrs a uma temperatura constante de 80 °C (Figura 6). Com os plugues secos, é realizada a pesagem das amostras em uma balança eletrônica e a medição de suas dimensões com o paquímetro digital. Feito o preparo das amostras, os plugues estão prontos para o ensaio.

Foi usado o equipamento UltraPoroPerm 500 fabricado pela Corelab (Figura 7) que utiliza o método da porosimetria por expansão gasosa, permitindo a medição do volume de grãos de cada plugue. A diferença entre os volumes (total e de grãos) consiste no volume dos vazios. Para o cálculo da porosidade calculou-se a razão entre o volume de vazios e o volume total.

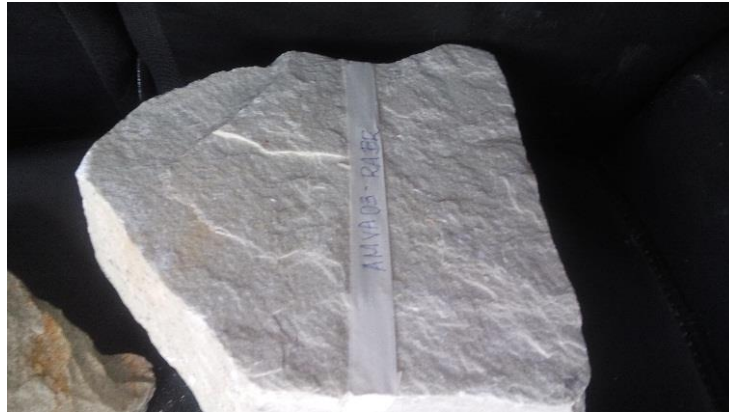


Figura 4 – Amostra de Quartzito recolhida na frente de lavra.



Figura 5 – Plugue da amostra após o processo de serragem, passagem pela plugadeira de bancada e a retificadora.



Figura 6 – Secagem das amostras para realização adequada dos ensaios.



Figura 7 – Equipamento UltraPoroPerm 500 fabricado pela Corelab.

Para obter os resultados acima, foram necessárias algumas equações. A Equação (1) calcula-se os volumes da rocha, sendo V_p o volume dos poros; V_g o volume dos grãos e V_t o volume total. Na Equação (2), tem-se o cálculo da porosidade (P), dado pela razão do volume de poros e o volume total.

$$V_p = V_g - V_t \quad (1)$$

$$P = V_p / V_t \quad (2)$$

A partir destas, é dado o valor da porosidade em porcentagem.

4. RESULTADOS

A partir dos dados do ensaio de porosidade, obteve-se as seguintes análises:

Tabela 1. Resultados obtidos na análise da porosidade dos Quartizitos

%POROSIDADE	COR:	LOCAL – PB:
19,7	Rosa escuro	Junco do Seridó
11,0	Azul	Várzea
9,8	Verde	Junco do Seridó
7,2	Amarelo	Várzea
5,1	Rosa claro	Junco do Seridó
2,9	Branco	Várzea
2,0	Cinza	Várzea

5. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Com estes resultados, compreende-se além da porosidade da rocha, sua capacidade de resistência dependendo do ambiente em que este é requisitado. Vê-se por exemplo que o Quartzito de cor cinza, é o menos poroso, fazendo dele ideal para ambiente externos, pois apresentará uma resistência maior ao intemperismo, já o Quartzito de coloração rosa escuro, apresenta alta porosidade, fazendo dele ideal para ambientes internos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGELIM, L.A.A.; VASCONCELOS, A.M.; GOMES, J.R.C.; WANDERLEY, A.A.; FORGIARINI, L.L.; MEDEIROS, M. DE F. 2004 Folha SB-24-Jaguaribe. In: Schobbenhaus, C.; Gonçalves, J.H.; Santos, J.O.S.; Abram, M.B.; Leão Neto, R.; Matos, G.M.M.; Vidotti, R.M.; Ramos, M.A.B.; Jesus, J.D.A. **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações Geográficas. Programa Geologia do Brasil**. CPRM, Brasília. CD-ROM.

SALES, E. D. **Estudo geológico e potencial econômico do pegmatito alto serra branca, município de pedra lavrada, Seridó paraibano**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Brasil. (2015)

SOARES, J. A. **Porosidades Físicas das Rochas**. Boletim SBGF. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geofísica, n.1. (2011)

TABOSA, L. D. G. **Estudo petrossísmico aplicado à bacia do rio do peixe**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Brasil. (2011)

VIDAL, F. W. H.; AZEVEDO, H. C. A.; CASTRO, N. F. **Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013

O USO DO LIMESTONE COMO ROCHA ORNAMENTAL

Larissa Lapa Teles Barbosa¹, Risale Neves²

¹ Arquiteta, Mestranda em Engenharia Mineral – Rochas Ornamentais, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE – Recife, PE

² Arquiteta, Dr., Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE – Recife, PE
lapalarissa@gmail.com

RESUMO

O trabalho investiga o uso do Limestone, do ponto de vista dos arquitetos, sustentando a problemática levantada por Neves sobre a falta de conhecimento destes profissionais acerca das propriedades e características das rochas. Neste sentido, analisam-se também as características tecnológicas, a partir das normas vigentes, de dois tipos de Limestone: Crema Paraná e Crema Potiguar. Apesar de ambos serem vendidos como Crema Riviera, os experimentos realizados comprovam que possuem gêneses diferente, resultando em desempenhos distintos para o mesmo ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: limestone, desempenho das rochas, crema riviera

ABSTRACT

This paper investigates the use of Limestone, from the point of view of architects, holding the issue raised by Neves about the lack of knowledge of these professionals about the properties and characteristics of rocks. In this sense, also analyzes the technological characteristics, from the current normative, of two types of Limestone: Crema Parana and Crema Potiguar. Despite both of them are sold as Crema Riviera, the experiments show that have different genesis, resulting in different performances to the same environment.

KEYWORDS: limestone, performance of rocks, crema riviera

1. INTRODUÇÃO

Observa-se hoje, no âmbito da Arquitetura, a crescente busca e aplicação de materiais naturais menos tradicionais utilizados para revestimento, mesmo que ainda pouco conhecidos quanto ao seu comportamento. Apesar de ser uma questão primaz lançada pelo vigor da Norma de Desempenho da Construção Civil ABNT NBR 15.575, o desempenho dos materiais de revestimento ainda confere uma lacuna no conhecimento de arquitetos. Tal problemática apontada por Neves (2012), explica que estes profissionais, ao especificarem as rochas ornamentais, levam em consideração apenas seus atributos estéticos, colocando em risco o desempenho e durabilidade do material. Afinal, por serem materiais naturais, as rochas possuem propriedades químicas, físicas e mecânicas diferentes, as quais nem sempre se adequam ao ambiente em que estão inseridas.

Neste sentido enquadra-se o Limestone, rocha ornamental bastante valorizada por suas possibilidades de design, especialmente com relação à cor, forma e textura, que vem sendo comercializada no Brasil há pelo menos 12 anos. Trata-se de uma rocha calcária sedimentar composta basicamente por calcita (CaCO_3) ou dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), com quantidades variáveis de impurezas. Conforme destacam Siegesmund e Török (2011), na indústria de rochas, os Limestones são muitas vezes vendidos como mármore, devido à semelhança no acabamento da superfície e colorimetria. Tal prática é bastante comum no Brasil, onde os nomes comerciais das rochas ornamentais nem sempre fazem jus a sua origem geológica, fato que contribui para aplicações indevidas destes materiais.

Aplica-se, dentro desse contexto, o interesse pela verificação de desempenho do Limestone a fim de repassar constatações, conclusões, resultados e dados complementares sobre esse material em voga para estudantes e profissionais de Arquitetura, entre outros ligados a construção civil. Para tanto, realizou-se (i) a investigação e observação de obras nas quais foram empregados os Limestones, (ii) uma pesquisa sobre o ponto de vista dos arquitetos que já tiveram algum tipo de contato com esta rocha, e (iii) ensaios laboratoriais para obtenção das características químicas, físicas e mecânicas do material de dois tipos diferentes de Limestones: o Crema Paraná e Crema Potiguar. Ambos são extraídos de jazidas localizadas na região do Apodi (Rio Grande do Norte) e, apesar de possuírem procedência e composição química distintas, podem ser encontrados no mercado com o nome de Crema Riviera, fato que os inclui na problemática apresentada.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, foram elencadas opiniões de arquitetos sobre os Limestones, registradas em publicações na Revista Rochas de Qualidade editadas entre os anos de 2010 e 2015. Os relatos foram listados e categorizados de acordo com as palavras-chave textura, limitação de uso, composição da rocha, colorimetria e custo. Durante o levantamento foram identificados os usos do Limestone em obras construídas e concluídas recentemente, das quais três foram visitadas e analisadas pelas autoras.

Posteriormente, foram obtidas amostras dos Limestones Crema Paraná (RN) e Crema Potiguar (RN) através da Mineração Apodi LTDA, bem como as análises e os ensaios de caracterização mecânica realizados pelo laboratório da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC). A caracterização mecânica compõe-se pelos ensaios de resistência ao impacto, ao desgaste por abrasão Amsler, à compressão uniaxial e à flexão.

A petrografia e mineralogia estão em conformidade com a NBR 15845/2010 (Anexo A) e a ASTM C294-86. Para as análises empregaram-se a lupa binocular Olympus SZ-BR com aumento 4-25x e o microscópio petrográfico Olympus BX41. A composição carbonática foi identificada através da reação com o ácido clorídrico (HCl) a 10% em temperatura ambiente. Para distinguir os cristais de dolomita dos de calcita, aplicou-se o tonalizante alizarina vermelha.

Os ensaios de Impacto de corpo duro seguiram a NBR 12764/1992, enquanto o desgaste por abrasão Amsler está de acordo com a NBR 12042/1992. A resistência à flexão foi medida na condição seca em corpos de prova nas dimensões 20x20x5cm. Para o Crema Paraná aplicou-se a metodologia do anexo F da NBR 15845/2010, enquanto para o Crema Potiguar, a NBR 12763/1992. Para a resistência à compressão uniaxial, também medida na condição seca, o experimento baseou-se no anexo E da NBR 15845/2010 para o Crema Paraná, e na NBR 12769/1992 para o Potiguar.

Por fim, foram feitos ensaios de índices físicos, pelas autoras, no Laboratório de Rochas Ornamentais da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), através da NBR 15845/2010 (Anexo B). No experimento, extraíram-se os valores da massa seca (M_{sec}), submersa (M_{sub}) e saturada (M_{sat}) das amostras, calculando, posteriormente, os índices de densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água.

3. RESULTADOS

3.1 Uso do Limestone na arquitetura

O levantamento realizado aponta para diversos comentários a respeito dos Limestones de forma genérica e com termos sem fundamentação tecnológica ou justificativa que remeta a conhecimentos específicos sobre o material. Tal fato é comprovado ao analisar expressões como *“textura aveludada”* ou associações do tipo *“o clima frio propicia o uso dos Limestones”*. Foram encontradas também algumas confusões de entendimento sobre a natureza dos Limestones, Silestones ou Quartzones. Alguns profissionais os colocaram no *“mesmo bojo”*, acreditando serem todos materiais naturais ou, igualmente industrializados. Ocorre que o Limestone é uma rocha natural, enquanto os Silestones e similares são produtos industrializados compostos.

A categorização dos relatos em palavras-chave, conforme Tabela 1, permite sustentar a afirmação feita por Neves (2012) de que os arquitetos especificam rochas ornamentais como revestimento muito mais por suas feições estéticas. Dos 28 trechos selecionados, os temas mais comuns foram textura e colorimetria. Em alguns poucos casos foram encontrados relatos mais consistentes sobre a composição e limitação de uso desta rocha. No intuito de preservar a identidade dos arquitetos, utilizou-se um código composto pela letra A (arquiteto) e um número que representa a ordem do relato identificado nas edições da Revista Rochas de Qualidade.

Tabela 1. Categorização da opinião dos arquitetos sobre o Limestone (Elaboração dos autores)

Categorias	Opinião de arquitetos sobre o Limestone
Textura	A.08 - <i>“especifico bastante o Limestone porque gosto da textura do material”</i> . A.10 - <i>“o clima frio propicia o uso dos Limestones, pela sua textura mais aveludada”</i> A.13 - <i>“os tons pasteis no piso deixam o ambiente mais aconchegante. O Limestone é um material levemente aveludado, que lembra a areia da praia e é de fácil manutenção”</i> . A.16 - <i>“um Limestone mais uniforme, por exemplo, imprime mais leveza ao espaço e possibilita detalhar melhor os objetos de decoração”</i> . A.18 - <i>“o uso dos Limestones vem crescendo, em função dos tons suaves dos materiais e do toque aveludado proporcionado pelo acabamento levigado (mais fosco)”</i> . A.27 - <i>“a busca por materiais como Limestones e Silestones vem crescendo muito ultimamente, geralmente pelo fato desses materiais terem uma superfície mais regular, com menos movimento”</i> .
Limitação do uso	A.11 - <i>“como especifico com frequencia o Limestone, um material que tem determinadas particularidades, corte mais difícil e preço mais elevado, procuro trabalhar com marmorarias de alto padrão”</i> . A.15 - <i>“também gosto muito da textura e padrão do Limestone, mas por suas características, esse material tem algumas limitações. É muito poroso e mancha fácil”</i> .

Categorias	Opinião de arquitetos sobre o Limestone
Limitação do uso	A.21 - “uso muito o Limestone. É nobre e sofisticado. O único inconveniente é que requer maior cuidado na conservação”. A.23 - “quando opto por Limestone impermeabilizo para evitar problemas de manutenção”. A.24 - “os Limestones são rochas calcárias que absorvem muitos líquidos e embora sejam bonitos, ficam com aparência gasta e manchada em pouco tempo, se usados em áreas molhadas e de alto tráfego”.
Composição da rocha	A.09 - “utilizei uma rocha natural sedimentada, composição de calcário e sílica, importada do sudeste asiático: o Limestone martelado, na dimensão 60x30cm, que foi especificado na concepção da lareira”. A.17 - “a pedra que reveste o nosso espaço é o Limestone tal, uma rocha calcária que possui pigmentos fósseis”.
Colorimetria	A.19 - “usamos com frequência o Limestone tal, devido à sua coloração bege, muito característica, inclusive pelos veios bem marcados”. A.20 - “os Limestones podem ser aplicados nos mais variados projetos, em função das tonalidades neutras e padronagens mais homogêneas”. A.26 - “os Silestones são mais resistentes a água e manchamentos, então utilizo muito para bancadas principalmente de cozinhas. Já os Limestones são lindos, com diversas cores e padronagens que se adequam ao estilo dos projetos. Utilizo para pisos e em alguns banheiros”. A.28 - “quando quero cores não encontradas em rochas, opto por Limestones ou Silestones”.
Custo	A.07 - “uso com frequência o Limestone apesar de ser um material de custo mais elevado e que requer mais manutenção”. A.14 - “normalmente também especifico o Limestone, apesar de ser um material mais caro e que exige mais manutenção”. A.22 - “o Limestone é um material que gosto bastante, mas especifico bem menos do que gostaria, em função do alto valor agregado do produto”. A.25 - “o Silestone, o Limestone e o Corian, ainda estão muito caros, por esta razão especifico apenas para detalhes”.

Durante a investigação foram encontrados exemplos concretos do uso do Limestone em obras construídas. No Shopping Patio Batel (Curitiba/PR), por exemplo, o material foi empregado tanto no piso elevado externo com acabamento flameado e calibrado, como na fachada aerada em diversos tamanhos e acabamento escovado. Já no Resort Campo Bahia, situado em Santa Cruz Cabralia (BA), foi utilizado com superfície apicoada na área da piscina. Também se tem registro do uso de 380m² de Limestone em um apartamento cujo projeto é do arquiteto Ricardo Rossi (SP).

Das obras levantadas, foram visitadas três. A primeira se trata do Centro de Pesquisa Tecnológica Richard J. & Maureen E. Egan (Ilha do Fundão/RJ), cujo revestimento da fachada é composto pelo Limestone em combinação com painéis de alumínio (Figura 1). Em entrevista realizada pela Revista Rochas de Qualidade, o arquiteto responsável pelo projeto afirmou que o material atendeu aos requisitos estéticos e de durabilidade necessários para a Certificação Leed Gold.



Figura 1 – Detalhe do Centro de Pesquisa Tecnológica (Elaboração dos autores)

A segunda obra visitada foi o Museu do Amanhã (Rio de Janeiro/RJ) – o mais recente ícone da Arquitetura. Encontra-se Limestone empregado em cerca de 13.000m² de piso interno, possibilitando a observação das nuances de cor do material (Figura 2).



Figura 2 – Vista externa e interna do Museu do Amanhã (Elaboração dos autores)

Percebe-se a presença de veios, resquícios fósseis (Figura 3) e cavidades naturais, provavelmente preenchidas por recristalizações da calcita ou até mesmo por retoques de resinas, pratica bastante comum nas marmorarias.



Figura 3 – Pontos resinados e fósseis em revestimento do Museu do Amanhã (Elaboração dos autores)

Por fim, foi analisada a “Torre Z”, projeto do escritório Pontual Arquitetura (RJ) e escritório técnico Júlio Neves, cujos pilares cilíndricos são revestidos com peças de Limestone moldadas artesanalmente. As pedras foram fixadas por inserts metálicos alcançando um pé direito de 12 a 18m de altura e diâmetros que variam de 1,20m a 1,80m.

Apesar de não terem sido observados manchamentos nas obras visitadas, encontraram-se algumas trincas em paredes e pisos, as quais podem ter sido ocasionadas por fraturamentos pré-existentes ou impactos no piso.

3.2 Limestone Crema Paraná

A análise macroscópica (Figura 4) indicou uma rocha de coloração creme esbranquiçada em condição seca, ganhando tonalidade mais escura quando úmida, de estrutura maciça com presença de estrias (estilólitos), e granulação de fina a muito fina, dando destaque para pequenos cristais transparentes cuja composição não pode ser identificada à vista desarmada. Quando submetida ao HCl apresenta efervescência de moderada a alta.



Figura 4 – Análise macroscópica do limestone Crema Paraná (Elaboração dos autores)

A análise microscópica apontou uma textura biomicrocristica cujo arranjo cristalino é formado essencialmente por fósseis em uma matriz micrítica, predominantemente calcítica com granulação de fina a muito fina. A composição mineral da rocha é formada de 47 a 67% por uma combinação de calcita + micrita + esparita, de 30 a 50% de oolitos + pallets + microfósseis, e de 1 a 4% por dolomita.

Os índices físicos e o comportamento mecânico foram comparados com a ASTM C568 (Tabela 2), apontando para um calcário de média densidade ($2558,50\text{kg/m}^3$) com valores altos de resistência à compressão ($109,04\text{MPa}$) e flexão ($13,97\text{MPa}$), além de uma absorção de água bastante inferior ao limite determinado ($3,87\%$). Os ensaios de impacto revelaram uma altura limite de 28cm para que a rocha apresente rupturas caso colide com algum objeto. Já os testes de desgaste revelam valores acima de 1mm , tanto para o percurso de 500m , como para o de 1000m , afinal, trata-se de um material de baixa dureza e, por consequência, não indicado para pisos.

Tabela 2. Índices físicos do limestone Crema Paraná x ASTM C568 (Elaboração dos autores)

	Densidade (kg/m^3)	% Porosidade	% Absorção	RF3p (MPa)	RCU (Mpa)	Alt. Impacto (cm)	Desgaste 500m (mm)	Desgaste 1000m (mm)
Crema Paraná	2558,50	10,29	3,87	13,97	109,04	28	1,76	2,35
ASTM C568	≥ 1760 (baixa)	x	≤ 12	$\geq 2,9$	≥ 12	x	x	x
	≥ 2160 (média)	x	$\leq 7,5$	$\geq 3,4$	≥ 28	x	x	x
	≥ 2560 (alta)	x	≤ 3	$\geq 5,9$	≥ 55	x	x	x

3.3 Limestone Crema Potiguar

A análise macroscópica (Figura 5) indicou uma rocha de coloração creme clara a creme, de estrutura maciça e granulometria de fina a muito fina. Foram identificados alguns pontos escuros cuja provável composição é de microfósseis.



Figura 5 – Análise macroscópica do limestone Crema Potiguar (Elaboração dos autores)

A microscopia apontou textura bioesparítica na qual ocorrem algumas porções micríticas. O arranjo cristalino é formado por microfósseis em uma matriz microesparítica. A composição mineral se dá por bioclastos de foraminíferos (Fm) com variadas morfologias (unisseriadas, bisseriadas, miliolídeas e espiraladas) compostas por calcita (Ca). Também foram encontrados icnofósseis (Icn), oolitos (Ool) e pallets na composição da rocha (Figura 6). Foram identificadas fraturas preenchidas por calcita recristalizada (Figura 7). Em suma, a rocha é composta, em 59% pela combinação de calcita + micrita + esparita, em 15% por oolitos + icnofósseis + pallets, em 25% por microfósseis, e em aproximadamente 1% por opacos.

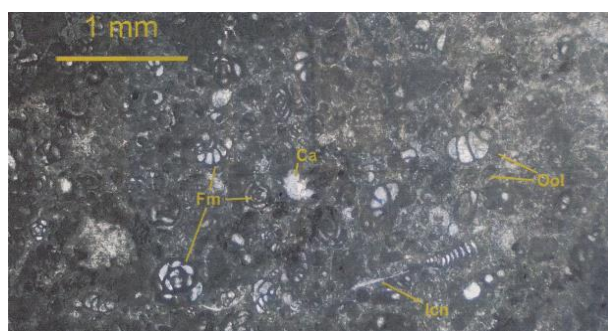


Figura 6 – Crema Potiguar: mineralogia, microfósseis e arranjo dos componentes (NUTEC, 2011)

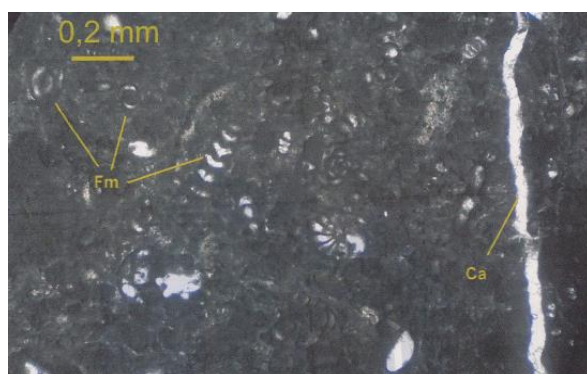


Figura 7 – Crema Potiguar: fratura preenchida por calcita recristalizada à luz natural (NUTEC, 2011)

Os índices físicos e ensaios mecânicos, comparados à ASTM C568 (Tabela 3), resultam em um calcário de alta densidade ($2558,50\text{kg/m}^3$), com adequada resistência à compressão ($99,50\text{MPa}$) e flexão ($15,60\text{MPa}$). No entanto, a absorção de água é pouco maior que o limite determinado, fato que pode acarretar em uma maior alterabilidade. A rocha apresentou fissuras quando submetida a impacto médio de $36,30\text{cm}$ e rupturas a $41,30\text{cm}$. Já os ensaios de desgaste apontam valores superiores a 1mm em ambos os percursos, fato contraindicado para revestimentos de piso.

Tabela 3. Índices físicos do limestone Crema Potiguar x ASTM C568 (Elaboração dos autores)

	Densidade (kg/m^3)	% Porosidade	% Absorção	RF3p (MPa)	RCU (Mpa)	Fissuras (cm)	Rupturas (cm)	Desgaste 500m (mm)	Desgaste 1000m (mm)
Crema Potiguar	2558,50	9,56	3,59	15,60	99,50	36,30	41,30	1,69	3,32
ASTM C568	≥ 1760 (baixa)	x	≤ 12	$\geq 2,9$	≥ 12	x	x	x	x
	≥ 2160 (média)	x	$\leq 7,5$	$\geq 3,4$	≥ 28	x	x	x	x
	≥ 2560 (alta)	x	≤ 3	$\geq 5,9$	≥ 55	x	x	x	x

4. CONCLUSÕES

Os Limestones, assim como diversas outras rochas, possuem propriedades que variam de acordo com sua gênese e, mesmo que se apresentem visualmente semelhantes pela coloração e textura, não são iguais uns aos outros. Este equívoco, aplicado o caso do Crema Paraná e Crema Potiguar, é bastante comum. No entanto, os experimentos realizados comprovam que os dois materiais possuem gêneses diferentes. Enquanto o Crema Paraná é formado principalmente por dissolução de carbonatos sob pressão, no Crema Potiguar a dissolução ocorre em temperaturas da ordem de 200°C . Apesar de serem comercializados com o nome de Crema Riviera, os Limestones em questão apresentam desempenho diferentes e podem comprometer a edificação nos aspectos mais variados, desde a estética até a segurança. Isto porque apresentam valores diferentes de resistência à flexão, compressão e de índices físicos. Nos relatos, alguns poucos arquitetos, talvez por observações ou experiência de uso, relacionaram as limitações de uso da rocha a sua composição. Mas a grande maioria mostrou desconhecimento acerca das propriedades e características, fazendo, inclusive, a associação indevida entre o Limestone e o Silestone, dois materiais de origens diferentes.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

NEVES, Risale.. **Uso de Rochas na Arquitetura**: contribuições ao processo de especificação. 2012. Tese (Doutorado em Geociências) - Centro de Tecnologia e Geociências - UFPE.

REVISTA ROCHAS DE QUALIDADE. São Paulo. Edições 2010 a 2015.

SIEGISMUND, Siegfried; TÖRÖK, Ákos. Building Stones. In: SIEGISMUND, Siegfried; SNETHLAGE, Rolf. **Stone in Architecture**: Properties, durability. 4. ed. Berlin: Springer, 2011. Cap. 2. p. 11-96.

CARACTERIZAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO ESTADO DO CEARÁ - UMA ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS ENSAIOS TECNOLÓGICOS

Leonardo Corecco de Queiroz¹, Roney Sérgio M. de Moura ², Luzia S. A. dos Santos³

¹ Graduando em Geologia, Universidade Federal do Ceará (UFC)

² Engenheiro Cível, NUTEC - Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará

³ Geóloga, NUTEC - Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará

leocorecco@gmail.com

RESUMO

O setor de rochas ornamentais no estado do Ceará é crescente, remontando ao final dos anos 80, quando se iniciaram as primeiras extrações. No entanto, atualmente o estado configura entre os maiores produtores de rochas ornamentais do Brasil, em especial, rochas graníticas. Segundo o Sindicato das Indústrias de Mármore e Granitos do Estado do Ceará (Simagran – CE), o mercado nacional de rochas ornamentais vem crescendo exponencialmente. Em 2014, o Brasil fechou o ano com US\$ 1,3 bilhão de exportação. O estado do Ceará exportou US\$ 16 milhões em rochas ornamentais, sendo este, o terceiro maior valor do País. Espírito Santo e Minas Gerais exportaram US\$ 1,18 bilhão e US\$ 176 milhões, respectivamente, sendo estes os dois maiores produtores e exportadores do Brasil. O presente trabalho irá abordar uma compilação de dados referentes às rochas ornamentais do estado do Ceará. Estes foram obtidos a partir dos resultados de ensaios físicos e tecnológicos (densidade média, porosidade, absorção de água, flexão em três pontos, compressão uniaxial e impacto de corpo duro), em amostras de rocha (granitos, mármore, quartzitos, etc.), realizados nas dependências da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC) entre os anos de 2011 até 2015. Estes resultados foram plotados em uma série de gráficos e tabelas, a fim de se qualificar, quantificar e posicionar as regiões mais propícias para cada uma das vertentes nas quais uma rocha ornamental pode ser empregada (caráter estrutural, revestimento, etc.), bem como, se ter um melhor entendimento a cerca dos processos que levaram tais características a serem presentes.

PALAVRAS-CHAVE: Rocha Ornamental, Ceará, Ensaios Tecnológicos.

ABSTRACT

The sector of ornamental rocks in the state of Ceará is growing, dating back to the late 80s when it started the first extractions. However, now the state sets among the largest producers of ornamental stones in Brazil, in particular, granitic rocks. According to the Sindicato das Indústrias de Mármore e Granitos do Estado do Ceará (Simagran – CE), the national market of ornamental rocks has grown exponentially. In 2014, Brazil ended the year with US\$ 1.3 billion of export. The state of Ceará exported US\$ 16 million in natural stones, which is the third highest in the country. Espírito Santo e Minas Gerais exported US\$ 1.18 billion and US\$ 176 million, respectively, which are the two largest producers and exporters from Brazil. This paper will address a compilation of data on ornamental rocks of Ceará. These were obtained from the results of physical and technological tests (mean density, porosity, water absorption, three point bending, uniaxial compression and hard body impact) in rock samples (granite, marble, quartzite, etc.), made in dependencies of the Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC) between the years 2011 to 2015. These results were plotted on a series of graphs and tables in order to qualify, quantify and position the most favorable regions for each in which strands of an ornamental rocks can be employed (structural character, coating, etc.), as well as having a better understanding about the producers leading to such features are present.

KEYWORDS: Ornamental Rocks, Ceará, Technological Tests.

1. INTRODUÇÃO

O setor de rochas ornamentais no estado do Ceará é crescente, remontando ao final dos anos 80, quando se iniciaram as primeiras extrações. No entanto, atualmente o estado configura entre os maiores produtores de rochas ornamentais do Brasil, em especial, rochas graníticas. Segundo o Sindicato das Indústrias de Mármore e Granitos do Estado do Ceará (Simagran – CE), o mercado nacional de rochas ornamentais vem crescendo exponencialmente. Em 2014, o Brasil fechou o ano com US\$ 1,3 bilhão de exportação. O estado do Ceará exportou US\$ 16 milhões em rochas ornamentais, sendo este, o terceiro maior valor do País. Espírito Santo e Minas Gerais exportaram US\$ 1,18 bilhão e US\$ 176 milhões, respectivamente, sendo estes os dois maiores produtores e exportadores do Brasil. (Simagran – CE, 2014).

O Estado do Ceará possui uma geologia bastante complexa, o que contribui em muito no seu rendimento como produtor de rochas com a finalidade ornamental. Encontrando-se inserido dentro na porção norte (N) da Província Borborema, cuja origem é interpretada como uma complexa faixa colisional resultado da amalgamação e acreção de terrenos e microplacas consolidados no final do Brasiliano (aproximadamente 620 a 541 M.a.). Devido a esta complexa evolução, se faz possível encontrar uma vasta gama de rochas que vão desde gnaisses, granitos, granodioritos e migmatitos (porções central e norte do estado), até calcários, mármore, arenitos, etc. (nas bordas E, W e S do estado, nas grandes bacias de Ibiapaba, Araripe e Apodi). Sendo assim, diferentes propriedades físicas se farão presentes, influenciando direta ou indiretamente nos resultados dos ensaios físicos e no emprego dos mesmos em uma dada função ornamental, como por exemplo: caráter estrutural, piso, faixadas, dentre outros.

2. MATERIAS E MÉTODOS

O presente trabalho consistiu em agrupar, tratar e interpretar uma série de dados obtidos a partir de ensaios físicos [índices físicos - densidade aparente (**D.A.**), porosidade (**P**) e absorção de água (**A.A.**); compressão uniaxial (**C.U.**); flexão por carregamento em três pontos (**F.T.P.**) e impacto de copo duro (**I.C.D.**)] realizados em amostras de diversos tipos litológicos, nas dependências da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC) entre os anos de 2011 até 2015. Para a realização dos mesmos, contou-se com os equipamentos recomendados pela Norma ABNT 15845 (Rochas para Revestimento - Métodos de Ensaio). Todos os aparelhos contam com uma

calibração anual e encontravam-se devidamente calibrados. Para o tratamento e confecção de gráficos e tabelas, fez-se uso do Excel versão 2007.

Este trabalho será dividido em seis classes de rochas distintas a fim de facilitar a compreensão do leitor e a exposição dos resultados, são elas: Calcários, Granitos, Mármore, Quartzitos, Rochas Diversas (RD) e Rochas Graníticas (RG). O grupo denominado de Rochas Diversas (RD) é composto por rochas que não se enquadram dentro da definição de granitos, quartzitos, calcários ou de mármore. Por fim, o grupo denominado de Rochas Graníticas (RG) pode ter seus valores comparados com os da norma ASTM C 615 para granitos de revestimento, pois os mesmos possuem características semelhantes aos granitos *sensu strictu*. A seguir serão descritos, de modo resumido, os ensaios físicos utilizados para compor este trabalho. Os mesmos foram realizados segundo as diretrizes da Norma ABNT 15845/10 (Rochas para Revestimento - Métodos de Ensaio).

2.1 Índices Físicos

Referem-se às propriedades de densidade aparente (kg/m^3), porosidade aparente (%) e absorção d'água (%), que permitem avaliar, de modo indireto, o estado de alteração e de coesão das rochas (Frasca, 2002), a fim de avaliar o seu potencial para uso em revestimentos internos ou externos.

2.2 Compressão Uniaxial (C.U.)

Determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando a mesma é submetida a esforços compressivos unidirecionais (Frasca, 2002). Tem por objetivo avaliar a resistência da rocha quando utilizada como elemento estrutural e obter um parâmetro indicativo de sua integridade física (grau de fraturamento, trincamento, dentre outros parâmetros pertinentes).

2.3 Flexão por Carregamento em Três Pontos ou Módulo de Ruptura (F.T.P.)

O ensaio de flexão por carregamento em três pontos ou módulo de ruptura determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha quando submetida a esforços flexores (Frasca, 2002). Permite avaliar sua aptidão para uso em revestimento, ou elemento estrutural, bem como, fornece um parâmetro indicativo de sua resistência à tração.

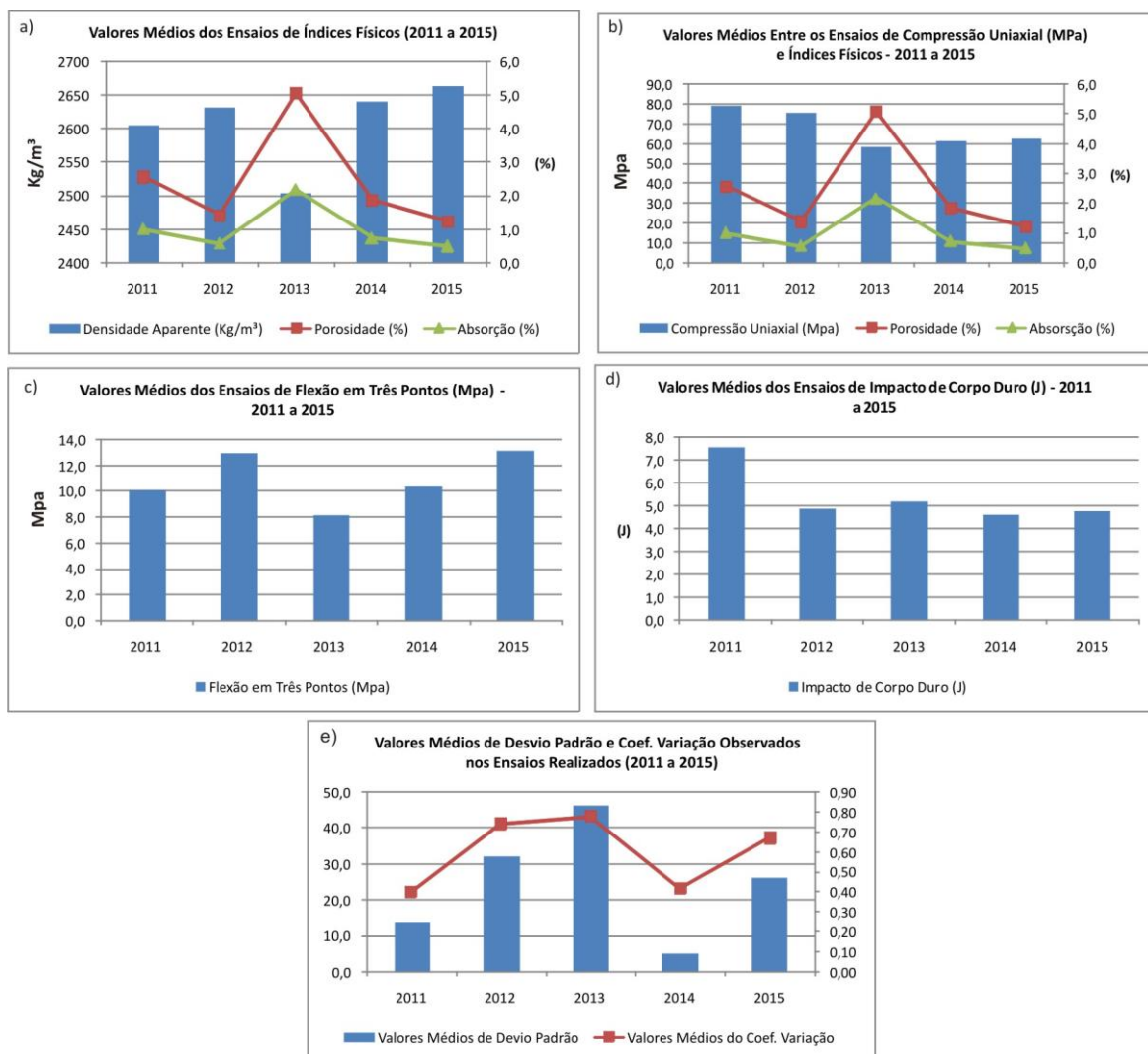
2.4 Impacto de Corpo Duro (I.C.D.)

Fornece a resistência da rocha ao impacto, a partir do cálculo da energia potencial gravitacional (J). A mesma é obtida através da determinação da altura de queda (m) de uma esfera

de aço (de aproximadamente 1 kg), que provoca o fraturamento e quebra de placas de rocha. É um indicativo da tenacidade da mesma, o que o torna bastante útil para se avaliar o potencial para revestimento (pisos, bancadas, dentre outros).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após findadas a realização dos ensaios, as interpretações e as análises pode-se observar que, ao longo dos anos, alguns valores encontrados para o mesmo tipo de ensaio, realizado no mesmo tipo litológico foram variados, devido ao fato de a frente de lavra ter avançado no decorrer do tempo, o que acarretou, por exemplo, no encontro de frentes mais alteradas e fraturadas, ou do contrário, frentes menos alteradas e menos fraturadas. Este fato pode ser exemplificado pelo ensaio de índices físicos (Gráfico 1 a), com valores médios de todas as litologias e ensaios ao longo dos anos de 2011 a 2015, bem como, pela Tabela 1, que ilustra as rochas obtidas durante o período, no mesmo município, com o mesmo tipo litológico e a mesma frente de lavra, o que comprova a alteração dos resultados conforme a frente de lavra avança.



Gráficos 1 – Valores médios observados para o ensaio de índices físicos (a); Comparação entre os ensaios de índices físicos e compressão uniaxial, durante os anos de 2011 a 2015 (b); Valores médios para o ensaio de flexão em três pontos (c); Valores médios para o ensaio de impacto de corpo duro (d) e Média de valores para as variáveis de desvio padrão e coeficiente de variação para os anos de 2011 a 2015 (e).

Tipo de Rocha	Localidade	Valores Médios dos Ensaios					
		Densidade Aparente (Kg/m ³)	Porosidade (%)	Absorção (%)	Compressão Uniaxial (Mpa)	Flexão em Três Pontos (Mpa)	Impacto de Corpo Duro (J)
Granito	Massapê	2615,51	0,62	0,24	-	-	-
Granito	Massapê	2618,56	0,50	0,19	-	-	-
Granito	Caucaia	2651,79	0,54	0,20	187,70	12,80	-
Granito	Caucaia	2656,91	0,62	0,23	182,50	13,10	-
Gnaisse	Caucaia	2631,64	0,41	0,15	118,09	22,90	6,96
Gnaisse	Caucaia	2631,64	0,41	0,15	67,59	13,80	7,55
Quartzito	Canindé	2605,89	0,42	0,16	-	-	-
Quartzito	Canindé	2603,11	0,61	0,23	69,00	11,68	4,41
Quartzito	Granja	2651,00	0,61	0,23	72,30	4,50	-
Quartzito	Granja	2648,67	0,41	0,15	77,30	2,80	-
Quartzito	Santana do Acaraú	2640,06	0,63	0,24	30,00	9,60	5,59
Quartzito	Santana do Acaraú	-	-	-	31,10	5,60	-

Tabela 1 – Rochas ensaiadas nas dependências da NUTEC em mais de uma oportunidade. Estas foram obtidas na mesma lavra e, portanto, comprovam o fato de haver uma alteração dos resultados conforme a frente de lavra avança.

O ano de 2013, por exemplo, possuiu os menores valores para o ensaio de índices físicos, no que diz respeito aos valores de D.A. (kg/m³), no entanto, possui os maiores valores de P e A.A. (%). O mesmo ano, também possui os menores valores médios para o ensaio de C.U. (Mpa). Este fato permite a associação entre valores de D.A. (kg/m³), P (%) e A.A. (%), com valores de C.U. Pelo que pode ser observado durante as análises, à medida que os valores de densidade aparente se tornavam menores, os valores de porosidade e absorção tendiam a aumentar. Já os valores do ensaio de compressão uniaxial tendiam a diminuir seguindo-se essa sequência analítica. Do contrário, também, têm-se um posicionamento favorável a essa análise. Valores maiores de D.A. culminavam com valores menores de P (%) e A.A. (%) e, por fim, com valores mais elevados de resistência a C.U. (Gráfico 1 b). Os demais anos se comportaram de maneira bastante semelhante, com poucas variações.

Realizou-se um levantamento das médias anuais das variáveis de desvio padrão (**D.P.**) e coeficiente de variação (**Coef. Variação**) Neste, foi possível notar uma alternância de valores ao longo dos anos, onde os anos de 2011 e 2014 possuíram os melhores resultados, respectivamente

13,83 e 5,16, para D.P.; 0,40 e 0,42 para o Coef. de Variação. Já os anos de 2012 e 2013, apresentaram valores mais elevados, sendo eles: 32,36 e 46,29 (**D.P.**); 0,74 e 0,78 (**Coef. de Variação**). Este pode ser um dos fatores que levou a distorção dos resultados obtidos no ano de 2013. O que não torna menos precisa a analogia proposta anteriormente, de relação entre os valores dos índices físicos e de compressão uniaxial (Gráfico 1 c).

As conclusões obtidas tiveram embasamento nas normas ASTM C 503; ASTM C 568; ASTM C 615 e ASTM C 616, conforme os padrões estão estabelecidos de modo simplificado na Tabela 2.

Tipo de Rocha		D.A. (Kg/m ³)	A.A (%)	C.U. (MPa)	F.T.P. (MPa)
Granitos (ASTM C 615)		≥ 2.560	≤ 0,4	≥ 131	≥ 10,34
Mármore (ASTM C 503)	Calcita Mármore	≥ 2.595	≤ 0,2	≥ 52	≥ 7
	Dolomita Mármore	≥ 2.800			
Calcários (ASTM C 568)	I - Baixa Densidade	≥ 1.760	≤ 12	≥ 12	≥ 2,9
	II - Média Densidade	≥ 2.160	≤ 7,5	≥ 28	≥ 3,4
	III - Alta Densidade	≥ 2.560	≤ 3	≥ 55	≥ 5,9
Rochas Quartzosas (ASTM C 616)	I - Arenito (≥ 60% Sílica Livre)	≥ 2.003	≤ 8	≥ 27,6	≥ 2,4
	II - Arenito Quartzítico (≥ 90% Sílica Livre)	≥ 2.400	≤ 3	≥ 68,9	≥ 6,9
	III - Quartzito (≥ 95% Sílica Livre)	≥ 2.560	≤ 1	≥ 137,9	≥ 13,9

Tabela 2 – Valores estabelecidos pelas normas ASTM para rochas ornamentais, com modificações.

Os Calcários analisados neste trabalho foram obtidos nos seguintes municípios do estado do Ceará: Forquilha, Santana do Cariri, Santa Quitéria e Tabuleiro do Norte. Os mesmos possuíam os seguintes valores médios para os ensaios de: índices físicos (**D.A.** (kg/m³), **P** (%) e **A.A.** (%)); **C.U.** (MPa) e **F.T.P.** (MPa), respectivamente: 2589,09 kg/m³; 5,83 %; 2,48 %; 43,92 MPa; 11,15 MPa. Segundo a norma ASTM C 568, os mesmos são classificados como calcários do tipo III (alta densidade. Desta maneira, os calcários do Ceará se mostram uma opção para o uso como revestimentos de bancadas, pisos, etc., no entanto, não são aconselháveis para o uso com caráter estrutural, apesar dos bons valores observados nos ensaios de flexão em três pontos (Gráfico 2).

Os Granitos analisados neste trabalho foram obtidos nos seguintes municípios do estado do Ceará: Banabuiú, Caridade, Caucaia, Maranguape, Marco, Massapê e Sobral. Os mesmos possuíam os seguintes valores médios para os ensaios de: índices físicos (**D.A.** (kg/m³), **P** (%) e **A.A.** (%)); **C.U.** (MPa) e **F.T.P.** (MPa), respectivamente: 2647,60 kg/m³; 1,21 %; 0,48 %; 92,73 MPa; 11,77 MPa. Sendo assim, os granitos do Ceará não se mostram uma opção aconselhável para o uso

com caráter estrutural, mas podem vir a serem utilizados como revestimento em bancadas, pisos, etc. (Gráfico 2).

Os Mármorees analisados neste trabalho foram obtidos nos seguintes municípios do estado do Ceará: Quixeré e Tamboril. Os mesmos possuíram os seguintes valores médios para os ensaios de: índices físicos (**D.A.** (kg/m^3), **P** (%) e **A.A.** (%)); **C.U.** (MPa) e **F.T.P.** (MPa), respectivamente: 2581,77 kg/m^3 ; 4,07 %; 1,63 %; 71,87 MPa; 15,30 MPa. Segundo a norma ASTM C 503, os mesmos são classificados como calcita mármorees. Sendo assim, os mármorees do Ceará não se mostram uma opção para o uso como revestimentos de bancadas, pisos, etc., devido as altas porosidade e absorção encontradas. Apesar disso, podem vir a ser utilizados com caráter estrutural (Gráfico 2).

Os Quartzitos analisados neste trabalho foram obtidos nos seguintes municípios do estado do Ceará: Arneiroz, Canindé, Granja, Hidrolândia, Independência, Massapê, Morrinhos, Russas, Santana do Acaraú, Sobral, Uruoca e Viçosa do Ceará. Os mesmos possuíram os seguintes valores médios para os ensaios de: índices físicos (**D.A.** (kg/m^3), **P** (%) e **A.A.** (%)); **C.U.** (MPa) e **F.T.P.** (MPa), respectivamente: 2626,23 kg/m^3 ; 0,88 %; 0,34 %; 54,84 MPa; 7,75 MPa. Segundo a norma ASTM C 616, os mesmos são classificados como tipo III (> 95% SiO_2). Desse modo, os quartzitos do Ceará não se mostram uma opção aconselhável para o uso com caráter estrutural, mas podem vir a serem utilizados como revestimento em bancadas, pisos, etc. (Gráfico 2).

O grupo denominado de Rochas Diversas (RD) teve suas amostras coletadas nos seguintes municípios: Eusébio (Fonolito), Massapê (Basalto), Paracuru (Traquito), Sobral (Hornfels), Arenito e Tonalito (não tiveram as localizações elucidadas). Já o grupo denominado de Rochas Graníticas (RG) é composto por rochas dos seguintes municípios: Aracoiaba (Gabro Diorito Aracoiaba); Banabuiú e Russas (Pegmatitos); Canindé (Milonito); Pentecoste (Protomilonito); Caucaia e Trairi (Gnaisses).

Os dois grupos anteriormente citados possuíram uma média de valores para os ensaios de: índices físicos (**D.A.** (kg/m^3), **P** (%) e **A.A.** (%)); **C.U.** (MPa) e **F.T.P.** (MPa), iguais a, respectivamente: 2571,80 kg/m^3 (RD) e 2657,21 kg/m^3 (RG); 0,92 % (RD) e 0,48 % (RG); 0,36 % (RD) e 0,18 % (RG); 96,45 MPa (RD) e 72,15 MPa (RG); 15,01 MPa (RD) e 12,96 MPa (RG). Como os mesmos não possuem uma classificação específica dentro da norma ASTM para rochas utilizadas como revestimento, não se pode afirmar com precisão seus resultados. No entanto, o grupo denominado de rochas graníticas pode ter seus valores comparados com os da norma ASTM C 615 para granitos de revestimento, pois os mesmos possuem características semelhantes aos granitos

sensu strictu. Analisando-se o grupo de rochas graníticas a partir desta norma, percebe-se que o mesmo é favorável ao uso como revestimento em bancadas, pisos, etc., no entanto, não é uma opção aconselhável para o uso com caráter estrutural, (Gráfico 2).

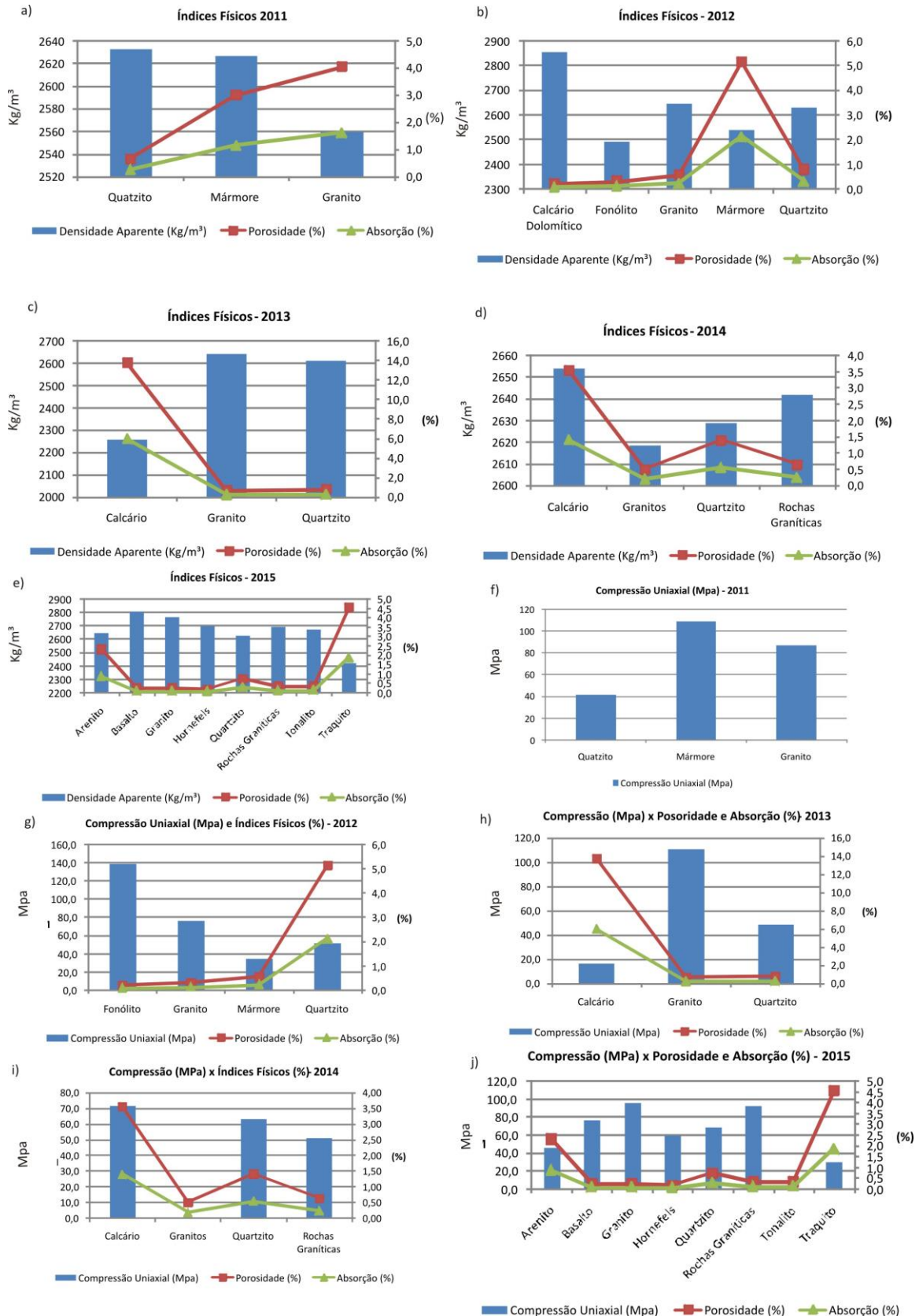


Gráfico 2 – Valores médios para os ensaios de índices físicos (gráficos A – E) e compressão uniaxial por rocha e por ano (2011 a 2015) realizados dentro das dependências da NUTEC durante os anos de 2011 a 2015.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o término do trabalho chegou-se a algumas conclusões que serão discutidas a seguir: O estado do Ceará possui uma gama extensa e variada de rochas, sejam elas ígneas (granitos, basaltos, etc.), sedimentares (calcários, arenitos, etc.) ou metamórficas (gnaiesses, mármore, etc.). Dentro deste grande grupo, cada localidade revela suas particularidades que puderam ser percebidas no decorrer do trabalho. Um fator que merece destaque diz respeito à relação observada entre as variáveis D.A. (kg/m^3), P (%), A.A. (%) e C.U. (MPa). Pelo que pode ser observado durante as análises, à medida que os valores de densidade aparente se tornavam menores, os valores de porosidade e absorção tendiam a aumentar. Já os valores do ensaio de compressão uniaxial tendiam a diminuir seguindo-se essa sequência analítica. Do contrário, também, têm-se um posicionamento favorável a essa análise. Valores maiores de D.A. culminavam com valores menores de P (%) e A.A. (%) e, por fim, com valores mais elevados de resistência a C.U..

Esta relação se fez presente em boa parte dos litótipos analisados, no entanto, se fez mais evidente em calcários, mármore e quartzitos. Dentre os demais litótipos trabalhados, o gabro diorito de Aracoiaba, o traquito de Paracuru e o hornfels de Sobral foram às rochas que possuíam esse mesmo comportamento, de modo mais acentuado.

Com relação aos valores de D.P. e Coef. de Variação os piores valores se concentraram nos ensaios de calcários e nos de mármore dos anos de 2012 e 2014 onde se pode observar os seguintes resultados: 172,51 kg/m^3 (D.A.); 6,39 (%) (P); 2,67 (A.A.) e 12,76 (C.U.) como valores de desvio padrão por ensaio em amostras de mármore do ano de 2012; 214,15 (D.A.); 2,76 (P) e 1,11 (A.A.) como valores de desvio padrão por ensaio em amostras de calcário do ano de 2014, como sendo os piores valores observados. Já os melhores resultados observados para o D.P. foram em amostras de granito dos anos de 2013 e 2015, com os seguintes resultados: 0,14 (P) e 0,06 (A.A.) no ano de 2013 e 0,04 (P) e 0,02 (A.A.) no ano de 2015. No que diz respeito ao coeficiente de variação, os mármore de 2012 e os granitos de 2013 seguem conforme seus desvios padrões. Os mármore possuíam valores da ordem de 1,26 no ensaio de absorção, por exemplo, e os granitos possuíam valores da ordem de 0,14 para o ensaio de F.T.P.. Sendo assim, pode-se concluir que de modo geral as rochas do estado do Ceará se comportaram de modo bastante heterogêneo em

todos os quesitos analisados, o que garante ainda, muito trabalho a ser realizado em cima destas rochas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as suas famílias pelo apoio, a Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC) por disponibilizar os dados de seus ensaios para a confecção deste trabalho e a organização do evento por proporcionar a divulgação do mesmo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. no prelo. Rochas para revestimento: terminologia. Norma 15845/10 (Rochas para Revestimento - Métodos de Ensaio).

ASTM – American Society for Testing and Materials. 2001. C119/01. Standard terminology relating to dimension stone.

ASTM – American Society for Testing and Materials. C503/C503M – 15. Standard Specification for Marble Dimension Stone

ASTM – American Society for Testing and Materials. C568/C568M – 15. Standard Specification for Limestone Dimension Stone

ASTM – American Society for Testing and Materials. C615/C615M – 11. Standard Specification for Granite Dimension Stone.

ASTM – American Society for Testing and Materials. C616/C616M – 15. Standard Specification for Quartz-Based Dimension Stone.

Frascá, M. H. B. O. – CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE ROCHAS ORNAMENTAIS E DE REVESTIMENTO: ESTUDO POR MEIO DE ENSAIOS E ANÁLISES E DAS PATOLOGIAS ASSOCIADAS AO USO. III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2002, Recife. III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste - Curso de rochas ornamentais. Rio de Janeiro: Cetem/MCT, 2002.

GSA – Geologic Time Scale 2012.

Sindicato das Indústrias de Mármore e Granitos do Ceará – Simagran, 2014.

ANÁLISE E COMPARAÇÃO DE MÉTODOS PARA DESDOBRAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS: ESTUDO DE CASO NAS EMPRESAS FUJI E GRANFUJI EM CAMPINA GRANDE, PARAÍBA.

Lucas Emanuel Batista Oliveira 1¹, *José F. de França Junior* 2², *José A. Ribeiro Albuquerque* 3³

Luis E. Morais Chaves 4⁴.

¹ Estudante de graduação em Engenharia de Minas, UFCG. ² Estudante de graduação em Engenharia de Minas, UFCG. ³ Estudante de graduação em Engenharia de Minas, UFCG. ⁴ Estudante de graduação em Engenharia de Minas, UFCG.
lucas.engdeminas@gmail.com

RESUMO

As rochas ornamentais representam importantes *commodities* voltados para mercados interno e externo, tendo atingido no ano de 2015 a marca de 2 milhões de toneladas de material vendido para mercados em diversos países ao redor do mundo. Neste escopo, estes bens minerais possuem como principal alvo a construção civil, com aplicação direta ligada as áreas de revestimento e decoração. O presente trabalho baseia-se em um estudo de caso realizado na empresas FUJI e GRANFUJI que atuam na região de Campina Grande (Paraíba), visando analisar etapas de beneficiamento relacionadas a utilização racional deste material. Através de análise detalhada das etapas de desdobramento dos blocos de rochas por chapas, foi possível comparar os processos de seccionamento de bloco por tear multilâmina e tear multifio, o que possibilitou a identificação de aspectos positivos e negativos de cada método. Esta pesquisa baseia-se em observações pessoais dos autores, além de informações verbais de funcionários da empresa correspondente ao estudo de caso. Por outro lado, a comparação entre essas técnicas permitiu dentre outras coisas a observação sobre o descarte da lama abrasiva. É possível concluir que o processo que envolve tear multifio diamantado permite melhorias significativas com relação aos resíduos gerados, apresentando vantagens sobre o uso de tear multilâmina.

PALAVRAS-CHAVES: multilâmina, commodities, lama abrasiva.

ABSTRACT

Dimension stone are important commodities facing domestic and foreign markets, reaching in 2015 the 2 million tons of material sold to markets in many countries around the world. In this scope, these minerals have a major influence construction, with direct application related to coating and decoration areas. This work is based on a case study in a private company engaged in the region Campina Grande (Paraíba), aiming to provide processing steps related to rational use of this material. Through detailed analysis of the unfolding stages of the blocks of rocks cut operation, it was possible to compare the processes of isolating block by multiblades gang saw and multiwire gang saw, which enabled the identification of positive and negative aspects of each method in our case study. This research is based on personal observations of the authors in addition to verbal information of employees of the relevant company to the case study. On the other hand, the comparison of these techniques allowed among other things the achievement of a critical-constructive approach for disposal or possible re-use of the abrasive slurry. It was concluded that the process involving diamond wire provides significant improvements to the block cutting process regarding the waste generated with advantages over the use of traditional gang saw.

KEYWORDS: multiblades, commodities, abrasive slurry.

1. INTRODUÇÃO

O processo do beneficiamento das empresas FUJI e GRANFUJI, a qual beneficia blocos de mármore e granito transformando-os em chapas para revenda no mercado interno e para exportação. Objetivamos aqui, a exposição do processo de beneficiamento na empresa, uma abordagem crítico-constructiva sobre o descarte ou possível reaproveitamento da lama abrasiva; resíduo esse que é oriundo do processo de beneficiamento das rochas nos teares e as grandes melhorias que o tear de fio diamantado propicia ao bloco e a empresa comparado ao tear multilâmina. Em visita as empresas FUJI e GRANFUJI em Campina Grande identificou-se o problema e decidiu-se estudar o assunto. Esse resíduo gera malefícios que do ponto de vista ambiental são vários.

Primeiramente, é importante ter uma ideia geral de como ocorre o processo de beneficiamento, entender as etapas envolvidas no beneficiamento primário e posteriormente secundário. Esses conjuntos de operações unitárias visam o seccionamento do bloco de rocha em chapas, as quais recebem tratamentos especiais que agregam valor ao produto. Em síntese, o foco do presente trabalho é analisar essencialmente os tipos de tratamento que são dados aos blocos no beneficiamento primário, comparando as técnicas de desdobramento e ressaltando os benefícios e malefícios que cada técnica trará ao bloco e a empresa, buscando de uma maneira geral justificar os benefícios que a tecnologia por tear multifio ocasionará.

2. BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

O beneficiamento primário das rochas ornamentais consiste no desdobramento de blocos rochosos de aproximadamente 9 m³ em chapas retangulares de aproximadamente 5 m² (Souza et al. 2012). O primeiro tratamento que o bloco de rocha recebe é a serragem, que pode ser feita por tear multilâmina ou multifio visando transformar o bloco em chapas de espessura que variam de 2,0 a 3,0 centímetros. Após a serragem, as chapas são lavadas e encaminhadas para o levigamento, esta técnica consiste em um conjunto de satélites que giram de forma coordenada visando retirar as rugosidades da superfície das chapas. Em seguida, é encaminhada para o forno de aquecimento cuja função é promover a sua secagem reduzindo a umidade natural resultante do processo de serragem a úmido. Neste processo a chapa é aquecida até a temperatura de 87 graus centígrados por 3 minutos e meio. Ao término deste processo a chapa segue para a etapa de resinagem onde é aplicada uma resina na sua superfície que propiciará o preenchimento de microfraturas ainda existentes. Esta etapa consiste na preparação ao processo de polimento, exigindo para cura ou secagem da resina entre 48 à 72 horas dependendo da resina aplicada. Este período de espera chamado tempo de cura, após o qual, a chapa estará pronta ao polimento, que por sua vez é feito por máquina denominada politriz e leva em torno de vinte minutos. A politriz possui um conjunto de vinte cabeçotes onde são distribuídas pastilhas abrasivas de diferentes gradações. Esse processo consiste a crescer brilho a chapa e agregar maior valor a mesma. Adicionalmente, em alguns casos é necessária outra etapa chamada de telagem cuja finalidade é a aplicação de uma tela que protege a peça contra quebras e ou deformidades.

2.1 Serragem dos blocos utilizando tecnologia de tear multilâmina

A empresa FUJI/GRANFUJI utiliza em seus processos de teares jumbo (Figura 1). A serragem no tear multilâmina é feito com a utilização de alguns elementos abrasivos como a bentogram, granalha, água e pó da própria rocha. Desta forma, cada material possui uma finalidade específica, por exemplo, a água deve resfriar e diminuir o desgaste da ferramenta de corte, já a bentogram evita a oxidação da granalha, e por fim, a granalha proporciona o atrito da rocha com a lâmina sendo responsável assim pelo corte. A duração de serragem em blocos de dureza baixa gira em torno de 48 horas e consome 3500 KW, 500 kg de granalha, e 200 kg de

bentogram. Materiais de dureza mais alta apresentam maior competência e resistência à penetração da ferramenta de corte e exigem aproximadamente 140 horas para serem serrados e consomem cerca de 10000 KW, 2000 kg de granalha e 600 kg de bentogram. A supervisão do processo durante a serragem nesta técnica é necessária em função de avaliações de viscosidade da lama abrasiva e o teste de granalha ativa Para isso são necessários 1 operador, 1 auxiliar e 1 supervisor. Este tipo de serragem gera um resíduo denominado de lama abrasiva, que ao final do processo é escoada por canais até um silo onde ocorre a decantação das partículas sólidas, a polpa é transportada até um filtro prensa e posteriormente descartada.

Durante o processo de serragem, as lâminas de corte sofrem grande abrasão. Além dos aspectos acima mencionados, a vida útil dessas lâminas é de 7 serradas para matérias moles e de 2 serradas para material duro. Por fim, as lâminas desgastadas são trocadas por granalha, pois são feitas de aço valioso. A manutenção desses teares é feita de forma periódica por 2 mecânicos e um auxiliar com frequência de 1 ou 2 vezes por mês.



Figura 1 – Tear multilâmina Gaspari Menotti.

2.2 Serragem dos blocos utilizando tecnologia de tear multifio

A empresa possui um tear multifio (Figura 2), esse tear é provido de fio diamantado como elemento de corte (Figura 3), tendo a serragem neste tipo de tear somente utiliza água como elemento de refrigeração do fio e limpeza do canal formado pelo avanço do fio. Em média, a serragem de blocos de dureza alta dura 9 horas ininterruptas, enquanto que materiais de dureza mais baixa tem duração de 4 horas.

O tear trabalha com 58 peças de fio diamantado de 19 metros e 65 centímetros Por outro lado, os cabos tem vida útil de 30 serradas ou 7000 m² a 9000 m², dependendo da dureza do material, porém, alguns fabricantes de fio permitem a remontagem, que consiste em troca ou reposição de seções do fio desgastadas, por meio da substituição dos cabos de aço, o que proporciona uma sobre vida da ferramenta de corte, chegando a atingir cerca de 14.000 m² de rocha serrada. Esta tecnologia exige o acompanhamento da operação por um operador para supervisionar a serragem. A manutenção do tear é corretiva. O desgaste do fio é monitorado rotineiramente.

A serragem por esta tecnologia gera uma polpa composta por água e pó de rocha, que é conduzida por canaletas até a unidade de tratamento, onde parte da água é reutilizada e retorna ao processo. Por fim, o resíduo gerado é prensado por filtro prensa e descartado em terreno particular.



Figura 2 – Tear multifio.



Figura 3 – Fio diamantado

3. COMPARAÇÃO ENTRE AS TECNOLOGIAS DE CORTE

A (Tabela 1) abaixo representa uma comparação entre duas técnicas de serragem de blocos de rochas ornamentais, os dados e informações foram fornecidos pelas empresas FUJI e GRANFUJI.

Tabela 1. Comparação entre as tecnologias de tear multilâmina e tear multifio

Comparação	Tear multilâmina	Tear multifio
Tempo de serragem de um bloco de dureza baixa	48 horas	4 horas
Tempo de serragem de um bloco de dureza alta	140 horas	9 horas
Materiais utilizados na serragem	Bentogram, granalha, água.	água

Vida útil da ferramenta de corte	7 serradas para rochas moles, 2 serradas para rochas duras.	Para fio não remontados 7000 m ² à 9000 m ² , fios remontados 14000 m ²
Necessidade de pessoas para supervisionar a Serragem	3 pessoas, 1 operador, 1 auxiliar, 1 supervisor.	1 operador
Energia gasta no processo	3500 KW para materiais macios, e cerca de 10000 KW para materiais duros.	2000 KW para materiais macios, e cerca de 6000 KW para materiais duros.
Existe reutilização da ferramenta de corte	É trocada por Granalha.	Sim, é feito remontagem.
Consumo de água	600 litros por hora.	600 litros por hora.
É gerado algum resíduo após a Serragem	Lama abrasiva, composta por Bentogram, Granalha, água e pó de rocha	Mistura de água com pó de rocha.
Manutenção do equipamento	Feito de maneira periódica por 2 mecânicos e 1 auxiliar.	Feito de maneira corretiva, por 1 mecânico e 1 auxiliar.
Custo da ferramenta de corte	Médio	Muito alto

4. CONCLUSÃO

De acordo com o que foi visto acima, a tecnologia de serragem com tear multifio apresentou-se mais eficiente e limpa, por que é menos dependente de materiais abrasivos, mostrou-se menos dependente a supervisão do processo, quanto ao tempo de serragem apresentou grande vantagem comparada ao multilâmina o que também está diretamente associado com a energia gasta no processo, o desdobramento utilizando o tear multifio apresenta valores de rugosidade máxima menor que as desdobradas no tear multilâmina. Esse parâmetro influencia diretamente no beneficiamento secundário das chapas, onde o consumo de materiais abrasivos é influenciado de forma direta pela rugosidade superficial das chapas (Souza et al. 2012). A ferramenta de corte apresenta maior tempo de vida útil, os resíduos gerados pela serragem são menos prejudiciais ao meio ambiente, pelo fato de não conterem material metálico em sua composição, que por sua vez é o grande problema da lama abrasiva, o que possibilita estudos menos complexos caso deseje-se reutilizar esses resíduos. Porém, o fio diamantado é uma ferramenta de corte bastante onerosa quando comparada ao multilâmina. É notório também o aumento da produtividade na tecnologia que utiliza fio diamantado.

A problemática da lama abrasiva pode ser mitigada com algumas iniciativas de aproveitamento dos resíduos para fabricação de tijolos ecológicos (Mota et al. 2011). Também possibilita o reuso para confecção de tijolos paisagísticos (FREIRE, 2009).

Podemos observar que investimento em novas tecnologias como fio diamantado trará melhoras operacionais ao processo de beneficiamento, e que a partir desta nova tecnologia possamos desenvolver novos estudos de melhoramento das ferramentas de corte.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS. **Catálogo de rochas ornamentais do Brasil** Banco de dados. Disponível na Internet. <http://www.abirochas.com.br/br/index.html>. Acesso em 09 de janeiro de 2016.

FREIRE, Leonardo Cattabriga; QUEIROZ, Joedy Patrícia Cruz; CARANASSIOS, Adriano. **Utilização de Resíduos Oriundos do Desdobramento de Rochas Ornamentais Para Confecção de Blocos Paisagísticos**. XVII Jornada de Iniciação Científica-CETEM, p. 137-143, 2009.

MOTA, Joseane Damasceno et al. **Aproveitamento dos resíduos de granito e caulim como materiais aditivos na produção de tijolos ecológicos**. Campus Universitário, Bodocongó. Campina Grande, Paraíba, 2011.

SOUZA, D. V.; VIDAL, F.W.H.; CASTRO, N. **Estudo comparativo da utilização de teares multilâmina e multifio no beneficiamento de rochas ornamentais**. JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, v. 20, p. 2012, 2012.

FORMAS DE APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS GERADOS PELO BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS NO MUNICÍPIO DE CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM - ES

Lealdo Lima da Silva¹, Paulo Silas de Brito², Gabriel Machado de Mattos³, Marciel Zucoloto Pizetta⁴
¹⁻⁴ Graduando em Engenharia de Minas - Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia do Espírito
Santo - IFES/ Campus Cachoeiro de Itapemirim - ES
lealdosilva@yahoo.com

RESUMO

O município de Cachoeiro de Itapemirim, no Sul do estado do Espírito Santo, abriga o maior polo de beneficiamento de rochas ornamentais da América Latina, disponível para todas as atividades da cadeia desse setor, tornando-se também grande produtor de resíduos oriundos dessa atividade. Isso ocasiona um sério problema a ser enfrentado pelos envolvidos nesse processo. Os impactos ambientais, causados pelos dejetos, como a lama abrasiva e as sobras de cortes de chapas. Preocupados com uma solução viável para esse problema, a comunidade científica brasileira vem buscando desenvolver soluções para o melhor aproveitamento desses resíduos bem como uma reutilização mais ecológica e sustentável. Com isso, realizou-se inicialmente um levantamento bibliográfico com os materiais relacionados ao aproveitamento de resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais. Após este estudo, as informações coletadas foram compiladas, obtendo as formas de aproveitamento apresentadas no trabalho. A partir dos estudos bibliográficos pesquisados, observou-se que o setor de pavimentação asfáltica busca substituir os agregados de minerais utilizados, por resíduos de rochas; na construção civil, há a possibilidade de utilização do material na produção de argamassa, tijolos e telhas; no setor de cerâmica, ganham destaque as descobertas e aplicações dos resíduos no processo de fundição das cerâmicas; no campo dos cosméticos, ênfase a utilização dos rejeitos oriundos do mármore; e, na indústria siderúrgica, podem-se aproveitar as sobras dos cortes de mármore, visto que os rejeitos são úteis na produção de pelotas de minérios em substituição ao calcário, especialmente o dolomítico. Com isso, a partir de todo o embasamento teórico, bem como as observações in loco do processo de beneficiamento de rochas ornamentais no município, pode-se notar que o desenvolvimento sustentável na produção é um caminho a ser percorrido pelo setor.

PALAVRAS-CHAVE: resíduos, beneficiamento, rocha ornamental.

ABSTRACT

The city Cachoeiro de Itapemirim, located in southern Espírito Santo, is the home to the largest ornamental stone processing pole in Latin America, available from all activities of the sector in this industry, it is also making up large producer of waste resulting from this activity. This have been causing serious problems that are related to this process. The environmental impacts caused by waste, such as abrasive slurry and remains plates cuts. Concerned about a viable solution to this problem, the Brazilian scientific community has sought to develop solutions for the best use of these residues as well as a more environmentally friendly and sustainable reuse. Thus, it has been designed to concatenate such information, there was initially a literature review with the materials related to the use of processing residues of ornamental. After this study, the information collected was compiled, obtaining forms of exploitation presented in the paper. From the bibliographical studies investigated, it was observed that the paving industry seeks to replace mineral aggregates used for waste rock; in construction, there is the possibility of using the material in the production of mortar, bricks and tiles; the ceramic industry, the findings are highlighted and waste applications in the ceramic casting process; in the cosmetics field, gains emphasis the use of waste derived from the marble; and in the steel industry, one can enjoy the leftovers of marbles cuts, since the tailings are useful in producing ore pellets to replace the limestone, especially dolomite. Thus, from all the theoretical basis as well as on-site observations of the dimensional stone milling process in the city, it may be noted that sustainable development in production is a way to go by the sector.

KEYWORDS: waste processing, ornamental rock.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil exportou cerca de 1.583.719,35 toneladas de rochas ornamentais, cerca de USD 849,8 milhões, entre os meses de janeiro a agosto de 2015. As exportações do mês de agosto somaram USD 105,2 milhões (Figura 1) e 10,72 mil toneladas de rochas. Comparado ao mesmo

período do ano de 2014 esses valores recuaram cerca 3,05% no faturamento e 11,46% e volume, devido à queda das vendas ao mercado Chinês. (ABIROCHAS, 2015)

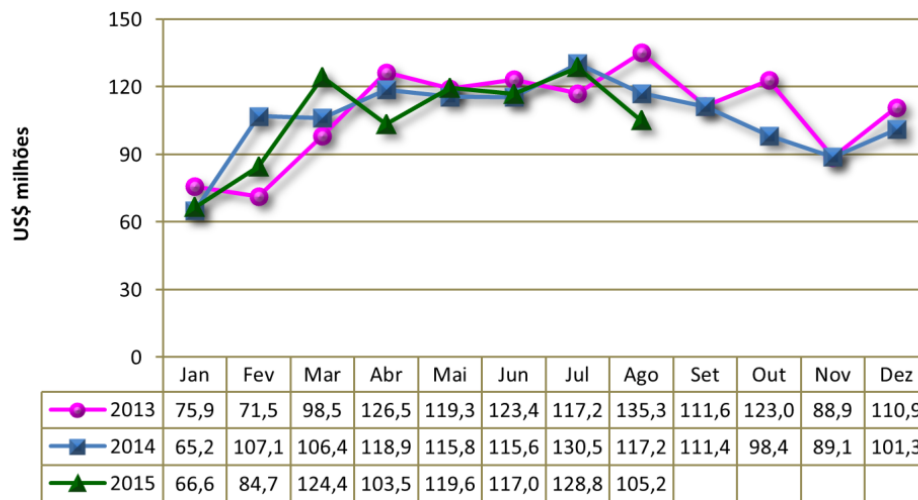


Figura 1 – Exportações mensais do setor de rochas ornamentais - (ABIROCHAS)

O estado do Espírito Santo é responsável por cerca de 46% da produção brasileira de mármore e granitos, (OLIVEIRA *et al.*, 2010) com destaque no beneficiamento de rochas ornamentais e, conseqüentemente, também produtor de uma grande quantidade de resíduos resultantes dessa atividade.

As exportações somaram USD 105,2 milhões, com um volume de 194,0 mil toneladas. A contribuição do setor de rochas ornamentais permaneceu no patamar de 82% (Figura 2) no faturamento e 59% no volume físico no mês de agosto de 2015 (ABIROCHAS, 2015).

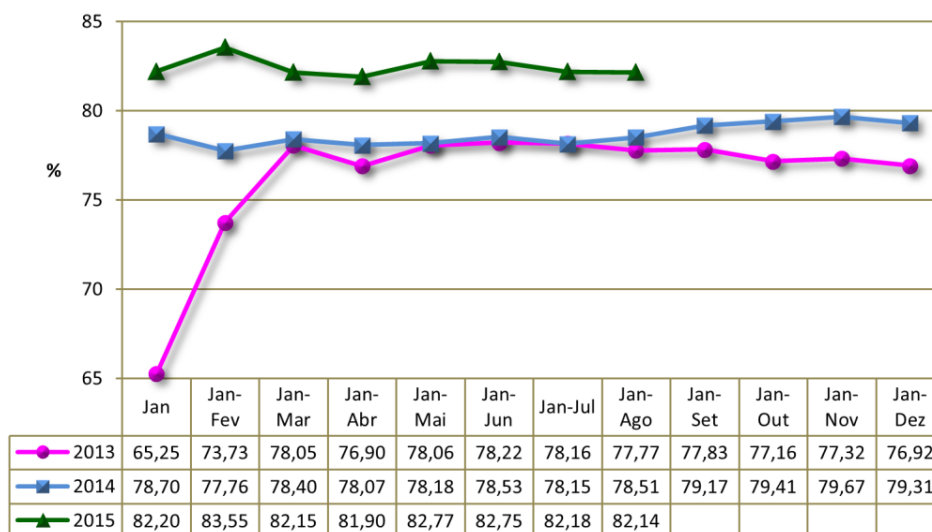


Figura 2 – Evolução da participação de rochas no faturamento das exportações brasileiras - (ABIROCHAS)

Localizada ao Sul do estado a 120 km da capital Vitória, a cidade de Cachoeiro de Itapemirim é o maior polo de beneficiamento de rochas da América Latina, estimando-se que cerca de 68,1 milhões m² de rochas são serradas anualmente.

O município realiza todas as atividades da cadeia produtiva do setor, beneficiando jazidas dos mais diferentes e exóticos tipos de mármore e granitos. Além disso, conta com toda a estrutura necessária, englobando equipe das atividades da cadeia produtiva, serviços técnicos, fabricantes de máquinas e fornecedores de insumos industriais.

Durante o processo de beneficiamento de rochas ornamentais, gera-se uma quantidade significativa de resíduos sólidos que, em sua grande maioria, é lançada em aterros sem o devido cuidado prévio (SOUZA *et al.*, 2010).

A fim de suavizar os danos causados ao meio ambiente por esses rejeitos, a comunidade científica brasileira, tem desenvolvido pesquisas e tecnologias procurando dar uma nova utilização para eles. Com este artigo visamos compilar algumas dessas soluções, com o objetivo de despertar nas empresas do setor e nos órgãos competentes a possibilidade de aplicá-las no município de Cachoeiro de Itapemirim – ES.

2. OBJETIVOS

Tem-se como objetivo verificar as possíveis aplicações dos resíduos gerados no beneficiamento de rochas ornamentais no município de Cachoeiro de Itapemirim.

Como objetivos específicos levantar bibliografias importantes que ressaltam as aplicações dos resíduos e sintetizar as melhores formas de aproveitamento do resíduo de rochas ornamentais.

3. METODOLOGIA

Inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico de trabalhos publicados relacionados ao aproveitamento de resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais.

De posse desse, promoveu-se a seleção dos mais relevantes e a análise desse material deu maior fundamentação teórica à pesquisa, concluindo assim a segunda etapa.

Já na etapa final, compilaram-se informações importantes, através das quais se obteve maior conhecimento e aprofundamento do tema. Levantou-se formas de aproveitamentos dos resíduos gerados pelo beneficiamento de rochas ornamentais, que poderão ser aplicadas também no município de Cachoeiro de Itapemirim, condicionadas apenas a ensaios e testes com resíduos próprios do município.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da pesquisa bibliográfica, observou-se que o setor de pavimentação (asfalto) busca substituir os agregados de minerais utilizados, por resíduos de rochas (RIBEIRO, 2003). Na construção, civil há viabilidade na produção de argamassa, tijolos e telhas (MOREIRA *et al.*, 2005). Já no setor de cerâmica ganham destaque as descobertas e aplicações dos resíduos no processo de fundição das cerâmicas, (VIERA *et al.*, 2013). O campo dos cosméticos ganha ênfase na utilização dos rejeitos oriundos do mármore, (OLIVEIRA *et al.*, 2010). A indústria siderúrgica pode aproveitar as sobras dos cortes de mármore, visto que os rejeitos são úteis na produção de pelotas de minérios em substituição ao calcário, especialmente o dolomítico (AVELLAR *et al.*, 2012).

4.1 Pavimentação

Nota-se a grande importância do sistema de transporte viário do Brasil para a movimentação da economia do país, como também para o deslocamento de pessoas. Para uma pavimentação mais sustentável ecologicamente, pesquisadores se empenham em encontrar formas menos poluentes na construção e manutenção das estradas brasileiras.

Uma das pesquisas é a utilização dos resíduos do corte de rochas ornamentais para a produção de agregados capazes de compor a geração de pavimentos asfálticos.

Os ensaios e os experimentos usados pelos pesquisadores Ribeiro e Correia (2013) concluíram que os resíduos da região de Medeiros Neto no estado da Bahia, podem ser usados como agregado mineral na pavimentação asfáltica, sem que haja a necessidade de melhoradores de adesividade.

Com isso, a aplicação dessa técnica no setor de pavimentação asfáltica em Cachoeiro de Itapemirim deve passar pela seguinte metodologia: fazer um estudo detalhado, testes e ensaios

nas amostras de resíduos de rochas ornamentais do município, observando a sua viabilidade, visto que a pavimentação utiliza em sua mistura cerca de 95% de agregados minerais e 5% de Cimento Asfáltico de Petróleo – CAP (RIBEIRO *et al.*, 2012). Os rejeitos sólidos de rochas poderiam compor parte dos agregados minerais reduzindo custos e suavizando os atuais impactos ambientais.

4.2 Construção civil

Estudos e pesquisas realizadas no Brasil confirmam que existe a possibilidade de se reaproveitar resíduos de rochas ornamentais, e os mesmos podem ser aplicados no setor da construção no município de Cachoeiro de Itapemirim, condicionados a testes com as amostras locais dos rejeitos.

A pesquisa realizada pelos autores Moreira, Manhães e Holanda (2005) mostrou que os experimentos dos rejeitos de rochas do tipo gnaiss podem ser utilizados como matéria – prima em massas argilosas para a fabricação de cerâmica. A mesma pesquisa afirma também que os testes mostraram que os corpos cerâmicos apresentaram boas propriedades quanto à absorção de água, retração linear e resistência mecânica, desse modo, podem ser usadas na fabricação de argamassas, telhas e blocos cerâmicos, numa temperatura de queima ideal (MOREIRA *et al.*, 2005).

4.3 Cosméticos

A grande quantidade de resíduos gerados pelo corte de mármore resulta numa grande preocupação com as questões ambientais.

No que se refere a estudos sobre o reaproveitamento de resíduos dos cortes de mármore aplicados às indústrias cosmética e farmacêutica, ainda são poucos os trabalhos realizados.

A pesquisa realizada pelos pesquisadores Andrade e Zegaib (2002), mostraram que os minerais carbonatados encontrados nos resíduos de beneficiamento de mármore são utilizados como carga na produção de cosméticos. Nela é descrito que os resíduos de mármore podem ser aproveitados também na adição à massa de produção de sabonetes, desde que haja classificação granulométrica, e que esteja limitada a 40% em massa para não ocorrer irritação na pele humana.

O aproveitamento dos rejeitos de rochas pelo setor de cosméticos abre um novo caminho de destino aos rejeitos de rochas ornamentais disponíveis no município. Para isso, são necessários investimentos em pesquisa, usando amostras locais e com dados precisos, a fim de trazer uma nova forma de aproveitamento dos rejeitos e gerar uma nova fonte de economia para a cidade de Cachoeiro de Itapemirim.

4.4 Pelotas de minério de ferro

A utilização de rejeitos do corte de mármore também é eficaz quando aplicada na produção de pelotas de minério de ferro, que são utilizadas na fabricação de aço pelo setor siderúrgico.

A pesquisa realizada por Avellar (2012), em conjunto com outros pesquisadores do Instituto Federal do Espírito Santo - Ifes mostrou que os resíduos de mármore são mais eficientes do que o calcário dolomítico utilizado na pelletização, devido as suas propriedades físicas e ao menor custo.

Seja o resíduo cortado com fio diamantado, ou com granalha, em ambos os casos, ele pode ser utilizado em substituição ao calcário no processo de pelletização. Quanto à utilização da granalha, deve haver um processo prévio de cominuição para adequação da granulometria do resíduo.

O município de Cachoeiro de Itapemirim, produtor de grande quantidade desses resíduos, poderia fornecer matéria prima para a pelletização de minério de ferro, condicionando as empresas do setor siderúrgico a fazer testes químicos e ensaios para utilização desses rejeitos como parte do processo de pelletização.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do embasamento teórico, bem como das observações *in loco* do processo de beneficiamento de rochas ornamentais no município de Cachoeiro de Itapemirim, pode-se notar que a produção e o desenvolvimento sustentável são caminhos a serem percorridos pelo setor de rochas ornamentais.

Cabe às empresas e aos órgãos competentes realizar testes e ensaios nas amostras e resíduos do município, observando a possibilidade de aplicar as formas aqui mencionadas, para um melhor aproveitamento dos resíduos gerados no beneficiamento. Isso contribuiria para um

desenvolvimento sustentável, na diminuição dos passivos ambientais oriundos dessa atividade e gerando renda para Cachoeiro de Itapemirim.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS. – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais; **Catálogo de rochas ornamentais do Brasil/ fornecedores**. Banco de dados. Disponível na Internet. <http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/10916/Informe_05_2012.pdf>. Acesso em 10 de setembro de 2015.

AVELLAR, L.M; SILVA, I.G; OLIVEIRA, J.R; CONTI, J.B; **Utilização de resíduos sólidos do corte de mármore na produção de pelotas de interesse siderúrgico**. Disponível <<http://propemm.vi.ifes.edu.br/wp-content/uploads/2012/08/UTILIZA%C3%87%C3%83O-DE-RES%C3%84DUOS-S%C3%93LIDOS-DO-CORTE-DE-.pdf>> - Acesso em 20 de fevereiro de 2016.

CHIODI FILHO, Cid. **Estimativas da serragem de chapas de rochas ornamentais no Brasil de 2009 a 2011**. São Paulo: ABIROCHAS, (Informe n 05/2012).

MOREIRA, J.M.S; MANHÃES, J.P.V.T; HOLANDA, J.N.F; **Reaproveitamento de resíduo de rochas ornamental proveniente do Noroeste Fluminense em cerâmica vermelha**. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v51n319/26789.pdf>> - Acesso em 11 de setembro de 2015.

OLIVEIRA, C.N.; RIBEIRO, R.C DA C.; QUEIROZ.; J.P.C.; **Aplicação de resíduos de mármore na produção de cosméticos**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

RIBEIRO, R. C. C., **Interação entre cimentos asfálticos e seus constituintes com agregados minerais na formação do asfalto**. Tese de Mestrado, EQ – UFRJ, 2003.

RIBIEIRO, R.C.C; CORREIA, J.C.G; **Geração de pavimento asfáltico contendo resíduos oriundos dos cortes de rochas ornamentais**. Disponível: < <http://www.dmg.ufcg.edu.br/ambientemineral/ed7/artigo5.pdf>> Acesso em 20 de fevereiro de 2016.

SILVA, J.R.G.; SOUZA, J.C.. **Aproveitamento de sobras de cortes de chapas de mármore e granito em marmorarias**. Disponível: <<http://www.dmg.ufcg.edu.br/ambientemineral/ed7/artigo1.pdf>> - Acesso em: 10 de setembro de 2015.

SOUZA, J.N.; RODRIGUES, J.K.G.; NETO, P.N. DE S.; **Utilização dos resíduos provenientes da serragem de rochas graníticas como material de enchimento em concretos Asfaltos usinados a quente**. Disponível: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v49n312/a1249312.pdf>> - Acesso em: 10 de setembro 2015.

VIERA, E. V.; SOUZA, M. M.; GONZAGA, L.M; **Caracterização dos resíduos da lavra de quartzitos da região do Seridó visando a produção de cerâmica para porcelanato**. Disponível:

<<http://www.dmg.ufcg.edu.br/ambientemineral/ed4/artigo2.PDF>> - Acesso em: 10 de setembro 2015.

EFEITOS AMBIENTAIS CAUSADOS POR RESÍDUOS GERADOS NAS PEDREIRAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Lucivanio V. Silva¹, Marcondes M. Souza², Francisco A. de Queiroz³

¹ Aluno do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte- IFRN

² Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte- IFRN

³ Aluno do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte- IFRN

lucivaniovarela@gmail.com

RESUMO

A mineração é fundamental para a economia de vários países, incluindo o Brasil que é um dos maiores produtores e exportadores de rochas ornamentais do mundo, tendo um grande destaque na produção de mármore e granito. Contudo, a retirada desses blocos de rochas é uma das formas que mais agride o ambiente. Pensando nisso, este trabalho tem o intuito de relacionar os efeitos ambientais ocasionados nas etapas de extração dos blocos de uma determinada pedreira, visando reduzir os impactos causados em meio ao ambiente de trabalho e também na geração de desconforto socioambiental. Durante a visita técnica feita a empresa Thor Granitos situada em Equador/RN, analisou-se que os principais impactos na extração de rochas ornamentais são: impacto atmosférico, ruídos e grandes vibrações do terreno lavrado. No presente estudo, sugere-se como solução a necessidade de agregar fatores que ajudem a amenizar esses passivos ambientais, tais como, cortinas verdes, para diminuir a poeira, realizar medidas de vibrações ao redor da mina e próximo à comunidade, com a ajuda de um sismógrafo capaz de monitorar o limite de vibração, comparar os níveis de pressão sonora medidas através das normas nacionais e internacionais (NBR 10151, NBR 10152, e outras). A preocupação com o ambiente vem crescendo a cada dia, pois, como sabemos as rochas ornamentais são recursos não renováveis, e com isso uma vez que o material é removido não pode ser reconstruído ou substituído. É necessário ter consciência e saber usar essa ferramenta de forma correta e responsável.

PALAVRAS-CHAVE: mineração, impactos, pedreira.

ABSTRACT

Mining is critical to the economies of several countries, including Brazil, which is a major producer and exporter of ornamental rock in the world, with a major highlight in the production of marble and granite. However, the removal of these blocks of rock is one way that most harm the environment. Thinking about it, this work aims to link the environmental effects caused in the extraction steps of the blocks from a particular quarry in order to reduce the impacts amid the working environment and also in generating social and environmental distress. During the technical visit to the company Thor Granites located in Ecuador / RN, analyzed the main impacts of the extraction of ornamental rocks are: atmospheric impact, noise and strong vibrations of the plowed ground. In this study, it is suggested as a solution to the need to aggregate factors that help mitigate these environmental liabilities, such as green curtains to reduce dust, perform measurements of vibrations around the mine and near the community, with the help of a seismograph capable of monitoring the vibration limit, comparing the sound pressure levels measured by national and international norms (NBR 10151, NBR 10152, and others). Concern for the environment is growing every day, because as we know, ornamental rocks are non-renewable resources, and once the material is removed can't be rebuilt or replaced. You must be aware and know how to use that tool in a correctly and responsibly way. tool.

KEYWORDS: mining, impacts, quarry.

1. INTRODUÇÃO

A extração mineral é considerada um dos setores básicos da economia do país e contribui para o bem-estar e melhoria de vida da população, porém é fundamental que esta seja realizada com responsabilidade social e ambiental, considerando sempre os preceitos do desenvolvimento sustentável.

A cadeia produtiva de rochas ornamentais é composta pelas pedreiras (ou lavras), que são frentes de extração a céu aberto onde ocorre o desmonte de rochas mecânico e com explosivos, e pelas serrarias onde fica o maquinário que dá acabamento a rocha bruta. Neste sentido tornou-se necessário averiguar os impactos sociais e ambientais causados a população do entorno de uma jazida de rocha ornamental no município de Equador/RN.

Os efeitos ambientais estão associados, de modo geral, às diversas fases de exploração dos bens minerais, como à abertura da cava, (retirada da vegetação, escavações, movimentação de terra e modificação da paisagem local), ao uso de explosivos no desmonte de rocha (sobre pressão atmosférica, vibração do terreno, ultra lançamento de fragmentos, fumos, gases, poeira, ruído), ao transporte e beneficiamento do minério (geração de poeira e ruído), afetando os meios como água, solo e ar, além da população local.

1.1 OBJETIVO

O presente estudo teve como objetivo analisar os impactos sociais e ambientais causados a população do entorno de uma jazida de minérios de pedras tendo como exemplo a empresa Thor Granitos situada em Equador/RN. O intuito é avaliar quais são as iniciativas adotadas para solucionar esses problemas procurando entender qual a relação dos empresários e dos empregados do setor junto ao meio ambiente e buscar identificar as irregularidades para poder solucionar-las.

1.2 METODOLOGIA

As jazidas de rochas ornamentais podem ser lavradas em maciços rochosos e em matacões, utilizando métodos e técnicas que possibilitam bons resultados em termos da relação custo/benefício, contudo é uma atividade essencialmente destrutiva, com a qual o meio ambiente sofre degradação em favor do progresso da economia. As operações de mineração normalmente envolvem o desmatamento, a destruição de habitats da biodiversidade local e a geração de desconforto para com os moradores das cidades próximas.

2. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os conflitos socioambientais são gerados pela falta de metodologia de intervenções que reconheçam a pluralidade dos interesses envolvidos. Observa-se que os impactos adversos mais significativos estão relacionados ao uso de explosivos no desmonte de rocha, por mais que seja de pequeno porte, os quais podem estender-se para áreas fora do domínio da pedreira, afetando, principalmente, os vilarejos da proximidade, para isso Foram levantados os diversos aspectos e

impactos ambientais da pedreira de Rochas Ornamentais e partir de fotos tiradas durante uma visita técnica à empresa Thor Granitos situada em Equador/RN foi analisada as seguintes causas e meios que implicam esses efeitos negativos:



Figura 1 – Foto tirada frente de lavra da pedreira em uma da visita técnica a empresa Thor Granitos situada em Equador/RN.



Figura 2 – Foto tirada na parte de desenvolvimento da lavra em uma da visita técnica a empresa Thor Granitos situada em Equador/RN.

O interessante seria estabelecer um registro de reclamações, contendo os dados e telefones dos moradores para saber o que se passa e o que esses impactos acarretam para as cidades circunvizinhas para tentar amenizar a situação, ter um monitoramento ambiental sempre que necessário no ambiente de trabalho, assim se comprometendo com os moradores e mostrando a sua preocupação para com a comunidade, ter um monitoramento contínuo em relação aos desmontes, com a ajuda de um sismógrafo, tentando minimizar as vibrações das áreas detonadas que é um dos fatores que mais afetam a comunidade local.

3. TABELA

A tabela abaixo mostra as atividades desenvolvidas em uma pedreira de rocha ornamenta relacionando os seus aspectos com os impactos causados:

Quadros 1 – Principais impactos ambientais causados na parte de beneficiamento do minério

ATIVIDADES	ASPECTOS	IMPACTOS
Descarregamento do minério	Geração de poeira e ruído	Poluição do ar e sonora, desconforto aos trabalhadores
Transferência de materiais	Perda de materiais	Riscos de acidentes, conforme o diâmetro do minério
	Geração de poeira e ruído	Poluição do ar e sonora, desconforto aos trabalhadores
Estocagem do produto	Geração de ruído, poeira e emissão de gases produzidos pelas maquinas	Poluição do ar e sonora, intoxicação por gases
	Perdas de material	Contaminação das águas superficiais e assoreamento de córregos próximos

4. CONCLUSÃO

Portanto, diante dos fatos analisados, as pedreiras de rochas ornamentais precisam de um planejamento que tentem beneficiar os aspectos sociais, ambientais e econômicos visando manter o bem-estar das vilas ou cidades vizinhas. O intuito é mostrar e buscar amenizar esses impactos causados pelas atividades diversas da extração do minério, seja ela desmonte, ruído ou qualquer outra forma de agressão. Por fim, a mineração é uma forma indispensável ao desenvolvimento de uma sociedade, porém seus meios e conseqüências devem ser trabalhados cuidadosamente tentando agredir o mínimo possível e sempre colocando em primeiro lugar o bem-estar socioambiental. Tendo isso em vista, seria interessante que as empresas trabalhassem em conjunto para com a sociedade, visando um desenvolvimento correto e ambientalmente justo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACCI, Denise de La Corte; LANDIM, Paulo Milton Barbosa; ESTON, Sérgio Médici de. Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 59, n. 1, p. 47-54, 2006.

PATRÍCIO, MARIA DA CONCEIÇÃO M.; SILVA, VIRGÍNIA MIRTES DE ALCÂNTARA; RIBEIRO, VICTOR HERBERT DE A. CONFLITOS SOCIOAMBIENTAIS: ESTUDO DE CASO EM UMA PEDREIRA NA PARAÍBA. **POLÊM! CA**, v. 12, n. 3, p. 528-544, 2013.

PONTES, JULIO CESAR DE; DE FARIAS, MARIA SALLYDELÂNDIA SOBRAL; DE LIMA, VERA LÚCIA ANTUNES. Mineração e seus reflexos socioambientais: Estudo de Impactos de vizinhança (EIV) causados pelo desmonte de rochas com uso de explosivos. **POLÊM! CA**, v. 12, n. 1, p. 77-90, 2013.

REIS, Renato Capucho; SOUSA, Wilson Trigueiro de. Métodos de lavra de rochas ornamentais. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 56, n. 3, p. 207-209, 2003.

OTIMIZAÇÃO DO MÉTODO DE LAVRA NA EXTRAÇÃO DO QUARTZITO – COMUNIDADE QUILOMBOLA SUMIDOURO, QUEIMADA NOVA - PIAUÍ

*Alinne Marianne Martins Araújo 1¹, Antônio Augusto Pereira de Sousa 2²,
Josivan Pereira Silva Jr 3³, Francielson Silva Barbosa 4³, Armênia Soares Xavier 5⁴*

¹ Mestre em Engenharia Mineral, Departamento Engenharia de Minas, Universidade Federal de Pernambuco - Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cid. Universitária, 50670-901, Recife - PE (Brasil)

² Prof. Dr. Departamento de Química, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba Rua Baraúnas,351, Universitário, 58429-500, Campina Grande - PB (Brasil)

³ Técnico em Mineração, Campus Paulistana, Instituto Federal do Piauí, 64750-000, Paulistana - PI (Brasil)

⁴ Graduanda em Engenharia de Minas, Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, Universidade Federal de Campina Grande, 58429-900, Campina Grande - PB (Brasil)

E-mail: armeniasoares@yahoo.com.br

RESUMO

O quartzito é uma rocha que pode vir a tornar-se um produto de valor econômico considerável por suas características estéticas, físicas e mecânicas, que servem para revestimentos de pisos e paredes. A comunidade Quilombola Sumidouro, município de Queimada Nova, sudeste do Piauí, trabalha com o quartzito, extraíndo o material de uma pedreira situada na localidade e comercializando no mercado de rochas ornamentais da região. Essa atividade, contudo, utiliza de técnicas manuais para a extração da rocha, o que dificulta a comercialização do quartzito extraído devido à qualidade final do produto. O presente trabalho procurou caracterizar essa atividade, analisando as características históricas, socioeconômicas e ambientais e principalmente o volume de rejeitos gerados. A metodologia empregada baseou-se em medições de campo, levantamentos históricos e entrevistas durante um período de quatro meses com a comunidade Quilombola. Os resultados da pesquisa mostraram o potencial dos recursos naturais e algumas medidas que podem ser adotadas para a melhoria do produto.

PALAVRAS-CHAVE: quartzito, quilombola, pedreira.

ABSTRACT

The quartzite is a rock that may ultimately become a product of considerable economic value for its aesthetic, physical and mechanical characteristics which serve to floor coverings and walls. The Sumidouro Quilombo community, municipality of Queimada Nova, southeastern Piauí, Brazil, works with quartzite, extracting the material from a mine located near the locality and marketing it in the ornamental stone market of the region. Their activity, however, uses manual techniques for the rock extraction, which hinders commercialization of quartzite mined because the final product quality. The present study sought to characterize this activity, analyzing the historical, socio-economic and environmental features, with especial attention to the volume of tailings generated. The methodology was based on field measurements, historical surveys and interviews with the Quilombo community residents. The results have showed the potential of natural resources of the community and necessary changes for an improvement in the final product quality.

KEYWORDS: quartzite, quilombo, quarry.

1. INTRODUÇÃO

A pedra natural, enquanto material imediato e acessível, utilizada em objetos e construções, tem acompanhado o homem desde o período pré-histórico e, em sua perenidade, vem registrando a trajetória das civilizações. Inicialmente empregada na forma bruta, foi sendo, ao longo do tempo, dominada e transformada em delicado e profuso ornato. Cantaria é a pedra que, tendo sido afeiçoada manualmente, com o uso de ferramentas adequadas, apresenta-se pronta para ser utilizada em construções e equipamentos. Atua ora como elemento estrutural, ora como ornamentação e, muitas vezes, atende às duas funções (VILLELA, 2003).

Atualmente existem no Brasil, aproximadamente 5000 mil comunidades quilombolas, e muitas surgiram com a mineração e apresentam tradicionalmente a vocação para a atividade de produção mineral em pequena escala. Podemos destacar as comunidades quilombolas localizadas no norte da Bahia, no Vale do Jequetionha, em Minas Gerais, Oriximiná, no Pará, no Território Kalunga, em Goiás, entre outras. Isto não pode ser ignorado, pois muitas vivem, em extrema pobreza. No caso da Pesquisa objeto de estudo, o trabalho será realizado apenas com a

comunidade que já vive da extração, beneficiamento e comercialização do quartzito caracterizando uma pequena mineração (AGUIAR, 2004).

No entanto, no decorrer de todos esses anos de atividade exploratória foram gerados problemas ambientais. Tais problemas são decorrência da cultura de extração do bem mineral, da falta de consciência ambiental volvidas a uma extração sustentável e da falta de uso dos rejeitos.

Este projeto visa desenvolver soluções que possibilitem o crescimento de toda comunidade e a minimização dos impactos ambientais.

O município está localizado na microrregião do Alto Médio Canindé (figura 1), compreendendo uma área de 1438,39 km², tendo como limites os municípios de Paulistana e Acauã ao norte, ao sul com Lagoa do Barro do Piauí e o estado de Pernambuco, a leste com o estado de Pernambuco e, a oeste com Lagoa do Barro do Piauí. A sede municipal tem as coordenadas geográficas de 08°34'46" de latitude sul e 41°25'10" de longitude oeste de Greenwich e dista cerca de 522 km de Teresina (GOMES, 1991).



Figura 1 – Localização do Município Queimada Nova – PI. Fonte:(AGUIAR,2004).

2. METODOLOGIA

A metodologia que guiou as práticas do projeto teve como objetivo principal a educação patrimonial, ambiental, melhorias no método de exploração do quartzito e a segurança no trabalho através de uso de EPI's, por meio de palestras e mini cursos. Utilizando a cantaria para reforçar a identidade local e formar um conhecimento do mundo ao redor de forma mais imediata. O trabalho realizado fundamentou-se em uma abordagem participativa, visando a integração e aplicação das técnicas para otimização do material aos interesses explicitados pela comunidade, e se apoiando em três grandes etapas:

1ª Etapa: Visita ao campo

Visita à comunidade Sumidouro Quilombola da cidade de Queimada Nova – PI, para contato com os trabalhadores e artesãos, conhecimento dos processos produtivos, da cidade, da cultura e realidade local.

2ª Etapa: Melhorias no produto

Definição de produtos a serem desenvolvidos de acordo com as necessidades e demanda local, observando a capacidade produtiva, a possibilidade de um design padronizado de novos produtos ou de produtos existentes, o reaproveitamento e valorização do resíduo de pedra;

3ª Etapa: Palestras e Mini cursos

Reunião com a comunidade envolvida os quais estavam presentes empresários, artesãos e outros, para desenvolver soluções de design, com objetivo de manter um padrão do produto para assim, agregar valor ao produto final. Possíveis usos para o rejeito gerado pela produção do material. Atividades de divulgação do produto também podem ser realizadas a partir dos trabalhadores da região para as cidades vizinhas. Houve mini cursos sobre EPI's, com objetivo de incentivar o uso, pois uma das realidades das pedreiras, em geral é que os trabalhadores não são adeptos de equipamentos de proteção individual, o que acarreta vários danos a saúde.

2.1 Geologia local

O contexto geológico do município de Queimada Nova é constituído, predominantemente, por rochas do embasamento cristalino pré-cambriano. As coberturas sedimentares ocorrem sob a forma de pequenas manchas de materiais detríticos como areias, argilas, cascalhos elatéritos, reunidos na unidade colúvio-eluviais. As rochas do embasamento cristalino estão representadas por: filito, mármore, quartzito e xisto da Unidade Barra Bonita; xisto, quartzito e ardósia da Unidade Mandacaru; filito, mármore, xisto, quartzito e gnaiss da Unidade Monte Orebe e mármore, quartzito e xisto do Complexo Santa Filomena e Granitos o que é perceptível desde rochas aflorantes a plantas de pequeno porte e espinhosas, devido solos mal a pouco desenvolvidos. Conforme mostra o esboço geológico a seguir, é notável a maior presença de

embasamento Metamórfico no município em estudo, visto que o quartzito é uma rocha formada a partir do arenito metamorfizado, sendo a rocha quartzito responsável pelos principais garimpos de rocha ornamental em operação no município (AGUIAR, 2004).

2.2 Processo de formação do quartzito

O termo rocha descreve uma associação de minerais que, por diversos motivos geológicos acabam unidos. A rocha quartzito é derivada de uma série de eventos geológicos, desde o nascimento dos grãos até a metamorfização, diferentes grãos são desprendidos pelo intemperismo que a rocha mãe sofre, com a ação do vento ou da água acaba-se depositando em bacias formando o arenito. O quartzito é uma rocha muito dura, não foliada e geralmente brancas derivadas de arenitos ricos em quartzo. O termo arenito corresponde à areia litificada sendo composto por quartzo, feldspato (ou outros minerais de origem ígnea) e fragmentos líticos (PRESS et al, 2006). Após processos de subsidência, as rochas sedimentares por fatores de origem geológica acabam sofrendo altas pressões e temperaturas recristalizando-se seus grãos formando assim o quartzito, rocha metamórfica amplamente utilizada em pisos e fachadas de residências. Rocha fonte de materiais para tijolos e refratários de sílica, usada na siderurgia e para o preparo do leito de fusão dos altos-fornos, rocha ornamental utilizada de diferentes maneiras (rústica, talhada, polida, etc).

2.3 Método de extração

O método de extração utilizado é a céu aberto e as pedreiras ocupam áreas longas e com pouca profundidade, pois se desenvolvem seguindo o corpo de quartzito (Figura 2). A remoção da cobertura e material rochoso muito alterado é realizada manualmente pelos produtores, e, em seguida realizam o pré-corte da rocha para facilitar o avanço frontal da pedreira (Souza et al., 2001; Vidal; Castro, 2012). O método utilizado gera grandes quantidades de resíduos que se acumulam em frentes de lavra das pedreiras, dificultando seu desenvolvimento e deixando os locais de trabalho com alto risco de acidentes.



Figura 2 – Cava de extração de quartzito.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A primeira visita, de caráter técnico, foi realizada com o objetivo de se obter informações sobre a extração do quartzito, sobre a primeira fase do processo produtivo (desdobro) das peças comercializadas, assim como sobre a dimensão do resíduo gerado. Onde foi possível comprovar o potencial de uso da pedra, seu mercado. Quanto ao processo produtivo do quartzito, as placas são extraídas e beneficiadas manualmente, com auxílio de ferramentas como pode ser observado na figura 3a e em seguida são dispostas em pilhas para serem comercializadas, Figura 3b.

Na segunda visita, houve uma reunião, de caráter interativo, que foi realizada com um grupo de trabalhadores e artesãos da região com o objetivo de analisar os vários aspectos relacionados à comunidade Sumidouro Quilombola tais como: cultura, turismo, comércio, produtos gerados a partir da pedra, e também os problemas envolvidos (Figura 4).



Figura 3 - a) Ferramenta utilizada no beneficiamento; b) Pilha de quartzito para comercialização.

Entre as principais informações registradas nesta reunião, pode-se destacar:

- Há uma desvalorização monetária da pedra 70 m² da pedra fica em torno de 30,00 reais);
- Observa-se uma crise de identidade cultural;
- Criou-se uma oposição turismo x pedreira, pois, como a pedreira fica bem próxima da área turística, muitos trabalhadores não aceitam muito bem os turistas.
- Há na região pinturas rupestres datadas como pré-colombianas, o que atrai o turismo;

A partir das informações obtidas através das reuniões, podemos fazer uma análise do que foi feito durante o período de estudo com a Comunidade Quilombola. Primeiramente houve o estudo bibliográfico, para sim partir para a comunidade, e podemos dar ênfase em três aspectos principais objetivos deste trabalho: 1- Aperfeiçoar a produção da pedra da região; 2- Soluções para minimizar os impactos ambientais; 3- Incentivar o uso de EPI's para segurança e saúde dos trabalhadores.



Figura 4 - Palestra com os trabalhadores para a melhoria da exploração do quartzito.

3.1 Otimizar a produção da pedreira

Para esta melhoria foi tomada uma iniciativa quanto à otimização do turno de trabalho diário, tendo em vista que todos os trabalhadores trabalhavam no mesmo turno, tendo assim um rendimento baixo quanto à produção, a partir disto, foi percebido que num total de 10 homens, dividindo-se em grupo de 5 homens, onde um dos grupos trabalhassem no turno da manhã e o outro grupo na parte da tarde havia um aumento na produção, pois ao invés de trabalhar 6 horas/dia, começaram a trabalhar 8 horas/dia.

Segundo objetivo, teve como finalidade padronizar o tamanho das chapas para a comercialização (figura 5). Pois mantendo um padrão no corte das chapas propicia uma melhor estética ao material o que resultou numa maior procura das empresas.



Figura 5 - Produção de chapa de quartzito padronizada.

3.2 Soluções para minimizar o impacto ambiental

Para uma diminuição significativa no impacto ambiental, foi estabelecido em uma das reuniões com a comunidade que o material estéril teria grande importância na construção para pavimentação de ruas e calçadas, o que levou a produção de paralelepípedos como pode ser observado na figura 6, aumentando assim a renda dos trabalhadores da comunidade.



Figura 6 - Produção de paralelepípedos em Queimada Nova – PI.

3.3 Uso de equipamento de proteção individual

Para incentivar o uso dos EPI's, foram realizadas palestras ilustrativas e também foram fornecidas apostilas sobre o assunto. Pois um dos impactos causados por conta da retirada do quartzito acarretam principalmente doenças aos trabalhadores, que em todas as etapas da extração estão susceptíveis a riscos no conceito à sua saúde (SOUSA, 2001). Na etapa de beneficiamento, que consiste no corte e serragem das placas, o maior problema resultante é a geração de partículas finas (de sílica) que, em suspensão podem ser inaladas pelos trabalhadores, sujeitos a desenvolver doenças pulmonares como a silicose pulmonar. No momento da extração do quartzito são produzidas pequenas lascas do material que podem cortar os trabalhadores e até prejudicar sua visão.

4. CONCLUSÕES

Considerando os resultados obtidos a partir dos trabalhos de extração e beneficiamento da rocha na pedreira situada na cidade de Queimada Nova – PI, ainda seguem sem a supervisão de técnico habilitado, o que tem acarretado constantes prejuízos à comunidade com a comercialização dos produtos com preços abaixo dos praticado no mercado e grande perda de material gerando o rejeito dando origem ao impacto ambiental.

É notável a preocupação dos trabalhadores quanto às questões ambientais, mas como não dispõe de técnicas de extração e equipamentos eficientes para um melhor beneficiamento e necessitam da venda dos produtos extraídos para manterem suas famílias os trabalhadores continuam lavrando mesmo tendo consciência dos problemas para com o meio ambiente.

Propomos para trabalhos futuros estudos sobre a caracterização tecnológica, visando melhor aplicações do quartzito, gerando assim opções inovadoras para o uso de todo o material, o que acarretará em um maior consumo do material e maior lucro para a comunidade, evitando paralelamente o impacto ambiental visual que é considerado um dos maiores problemas da pedreira.

5. AGRADECIMENTOS

Ao PIBEX, pela bolsa de pesquisa concedida e a comunidade Quilombola pelo apoio e participação durante a realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, R. B. de; GOMES, J. R. C.; **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí: diagnóstico do município de Queimada Nova**. Fortaleza: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2004.

GOMES, F. E. M.; VASCONCELOS, A. M.; **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. DNPM**, CPRM, Paulistana Folha SC.24-V-A-II. Brasília, 1991.

PRESS, F; SIEVER R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para Entender a Terra**. Tradução Rualdo Menegat, 4 ed. – Porto Alegre: bookman, 2006. 656 p.

SOUSA, A. P. F. et. al. **Uma abordagem técnica e ambiental sobre os depósitos de quartzitos no estado da Paraíba**. I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais. Salvador-BA. 2001.

VIDAL, F. W. H.; CASTRO, N.F. Relatório Técnico de Pesquisa Mineral e Lavra. Projeto **Tecnologia Avançada para Mineração de Quartzito**, convênio entre a FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos e o SEBRAE/PB, RRT-0008-00-12, CETEM/MCTI, 2012.

VILLELA, C. M. **Critérios para seleção de rochas da cantaria**. Ouro Preto: Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, REDEMAT, Universidade Federal de Ouro Preto, 2003. 73f. (Dissertação de Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais).

ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO DO REJEITO DO BENEFICAMENTO DO GRANITO, LAMA RESIDUAL, PARA FABRICAÇÃO DE BLOQUETES PARA USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.

*Weverton Pereira do Sacramento*¹, *Maria de Lourdes de Oliveira*², *Luana Leite Ferreira*³, *Robson Wotikowski Guedes*⁴

¹ Engenheiro de Minas, professor da Coordenadoria de Mineração do Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, coordenador da pesquisa, agência financiadora - CNPq, Rodovia Miguel Curry Carneiro, 799 – Santa Luzia, 29.830-000, Nova Venécia – ES. wsacramento@ifes.edu.br

² Engenheira Civil, professora da Coordenadoria de Edificações do Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, colaboradora da pesquisa, Rua Irany, 87 – Filomena, 29.830-000, Nova Venécia – ES. mariadelourdes@ifes.edu.br

³ Estudante do Curso Técnico em Mineração – IFES, Rua Pau Brasil, 31 – Cacique 2, 29.932-180, São Mateus – ES. luanaleite010@gmail.com

⁴ Estudante do Curso Técnico em Mineração – IFES, Rua Marcelino Chagas, 11 – João Colombi, 29.780-000, São Gabriel da Palha – ES. robsonwguedes2015@hotmail.com
wsacramento@ifes.edu.br

RESUMO

A presente pesquisa tem por objetivo investigar a viabilidade de aproveitar o resíduo fluído gerado pela indústria de beneficiamento de rochas ornamentais nas etapas de corte, serrada e polimento. Este resíduo fluído ou rejeito também chamado de lama abrasiva provem principalmente dos teares. A disposição destes rejeitos vem requerendo significativos investimentos dos mineradores e serrarias, bem como áreas cada vez maiores para a deposição do mesmo. Por isso, estudos que buscam formas sustentáveis ambiental e economicamente para a lama abrasiva têm apresentado crescente demanda pelo setor industrial e tido cada vez mais incentivo de empresas do setor mineral e de agências de fomento. Estudos que investigaram o uso do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais em concretos concluem pela pertinência destacam o aumento da resistência à compressão, bem como características de rápido endurecimento, resistência ao fogo, baixa condutividade térmica e boa resistência à abrasão, o que tem viabilizado o uso para vigas, materiais à prova de fogo, materiais de isolamento térmico, pisos, dentre outros. Neste sentido, é que se está pesquisando um traço que utilize a lama abrasiva em substituição parcial aos demais

componentes do bloquete diminuindo o uso de areia, pó de pedra ou até mesmo do cimento buscando economia. A metodologia adotada compreende caracterizar a composição química da lama abrasiva para que se possa produzir bloquetes usados para calçamento de vias e acessos em gerais com as mesmas especificações exigidas pela Norma Brasileira - NBR 9781. São apresentados os resultados de dois traços experimentados para produção de bloquetes em que se alterou uma variável por vez e em seguida as amostras passaram pelos testes especificados na norma brasileira e na norma francesa NF X31-211 adotada pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA que requer estudo de dosagem em massa dos materiais utilizados na fabricação dos bloquetes, testes de resistência à compressão, absorção de água e ensaio ecotoxicológico crônico em dois níveis tróficos do extrato lixiviado do monolito. O resultado final apresenta os valores obtidos nos testes para cada traço realizado comparando-os com o exigido pelas normas, possibilitando emitir parecer técnico científico sobre a pertinência do uso da lama abrasiva para produção de bloquetes para pavimentação.

PALAVRAS-CHAVE: lama de tear, rejeito de mineração, reaproveitamento.

ABSTRACT

This research aims to investigate the feasibility of harnessing the waste fluid generated by the natural stone processing industry in cutting steps, lumber and polishing. This fluid waste or waste also called abrasive slurry stems mainly from the looms. The disposal of these wastes is requiring significant investments of miners and sawmills, as well as increasingly larger areas to deposit the same. Therefore, studies that seek environmentally sustainable ways and economically for the abrasive slurry have shown increasing demand by the industrial sector and had increasingly encouraging companies in the mining sector and development agencies. Studies investigating the use of the processing of waste ornamental stones in concrete conclude the relevance highlight the increased compressive strength and fast hardening characteristics, fire resistance, low thermal conductivity and good resistance to abrasion, which has enabled the use for beams, fire-proof materials, insulation materials, flooring, among others. In this sense, it is that researching a feature

that uses the abrasive slurry to partially replace the other bloquete components reducing the use of sand, stone dust or even cement seeking economy. The methodology comprises characterizing the chemical composition of the abrasive slurry so that it can produce bloquetes used for paving roads and access in general with the same specifications required by the Brazilian Norm - NBR 9781. They are presented the results of two traits tested for production bloquetes that changed one variable at a time, and then the samples passed the tests specified in the standard Brazilian and French standard NF X31-211 adopted by the State Institute for the Environment and Water Resources - IEMA requiring mass dosing study of the materials used in the manufacture of the tile, compressive strength tests, water absorption and chronic ecotoxicological test two trophic levels of the leached extract monolith. The end result shows the values obtained in the tests performed for each trace comparing them with the required by the rules, enabling issuing technical scientific opinion on the appropriateness of the use of abrasive slurry to produce bloquetes paving.

KEYWORDS: tear mud, tailings mining, reuse.

1. INTRODUÇÃO

Até a Revolução Industrial a maioria dos produtos era derivada de compostos naturais, sendo que os resíduos produzidos eram em sua grande maioria biodegradáveis. A poluição era temporária e a natureza se regenerava com maior facilidade. Porém, com advento da Revolução Industrial a produção se diversificou feita em larga escala aumentou a quantidade de produtos e conseqüentemente de resíduos, assim como mudou as características químicas da matéria dificultando a regeneração por processos naturais (WOODARD & CURRAN INC., 2006). A partir do que os resíduos sólidos vêm se tornando um problema mundial devido ao crescente aumento na quantidade produzida e pelo alto potencial de contaminação que muitos deles possuem.

O armazenamento e o despejo em lugares inadequados, de uma variedade de compostos gerados durante a fabricação de novos produtos, estão causando uma perturbação crescente à natureza e por vezes irreversível. (AKBULUT et. al., 2012; MENEZES et. al., 2002).

No Brasil existem mais de 12.000 indústrias no setor de rochas ornamentais que movimentam aproximadamente 2 bilhões de dólares no mercado interno e externo, além de serem responsáveis por aproximadamente 100.000 empregos diretos. O Espírito Santo se destaca entre os Estados brasileiros, pela quantidade produzida, processada e exportada de rochas ornamentais, sendo referência em todo o mundo na produção de mármore e granito. (VITÓRIA STONE FAIR, 2013).

Mas, isso tem um custo ambiental que é a geração de grande volume de resíduos. Geralmente estes rejeitos são dispostos na natureza sem tratamento adequado causando danos ambientais e aumentando os custos da produção ao requerer investimentos significativos para o transporte e o armazenamento.

A destinação adequada ambiental e economicamente mais sustentável da lama abrasiva, proveniente das atividades do corte e polimento das rochas ornamentais, representa um desafio para as indústrias do setor. Atualmente, este resíduo, em geral, vem sendo depositado em aterros. A incorporação da lama residual em outros processos industriais é uma alternativa de redução dos custos de destinação, além de ser uma possibilidade de desenvolvimento de empreendimentos sustentáveis, que possam utilizar a lama residual do granito como fonte de matéria prima para fabricação de produtos comercializáveis.

Neste sentido, vários estudos estão sendo conduzidos para investigar a viabilidade do uso destes rejeitos na produção de outros materiais (SILVA et. al. 2005, TORRES et. al. 2009, AL-HAMAIEDEH & KHUSHEFATI, 2013; LI et. al., 2013; LIMA, 2010; BACARJI et. al., 2013).

Dentre os estudos desenvolvidos, objetivando o aproveitamento da lama de granito como insumo na fabricação de novos produtos, Li et. al. (2013), concluíram que a adição desse resíduo no processo de produção do cimento de oxiclreto de magnésio aumenta a resistência à compressão do produto. As características de rápido endurecimento e alta resistência inicial fazem deste cimento um material ideal para consertos rápidos, e devido às suas qualidades de resistência ao fogo, baixa condutividade térmica e boa resistência à abrasão, é comumente usado para vigas, materiais à prova de fogo, materiais de isolamento térmico, pisos, dentre outros.

Lima (2010) estudou como a incorporação da lama residual de granito na produção de solo - cimento pode vir a afetar a durabilidade de paredes monolíticas e tijolos fabricados com este tipo de cimento. Os compostos presentes no rejeito em questão também são constituintes do cimento

Portland, mais comumente utilizado, que apresenta 60,07% de CaO, 18,54% de SiO₂, 5,79% de MgO, 4,6% de Al₂O₃, 2,75% de SO₃, 2,04% de Fe₂O₃, 0,8% de K₂O e 0,1% de Na₂O (em massa) na sua composição. Os resultados demonstraram que a adição da lama contribuiu para uma melhor resistência ao envelhecimento dos materiais produzidos com solo - cimento. O autor sugere que a durabilidade do solo - cimento incrementado com a lama de granito em diferentes temperaturas e graus de umidade seja abordada em novos estudos. Por sua vez, Alves (2008), abordou a utilização da lama de granito na produção de concreto e concluiu que quanto maior a relação água/cimento (a/c) maior é a porosidade dos concretos, com isso a adição do resíduo de granito pode ser em maior porcentagem, tendo como resultado um cimento de melhor qualidade, mais adensado e com características mais homogêneas. Foram adicionadas proporções da lama de 10 a 20% em massa, para a/c = 0,65 o teor de adição da lama ideal foi de 20%, já para a relação a/c = 0,55 o teor ideal foi de 10% e para a/c = 0,45 não foi indicada a adição de 10 a 20% do resíduo de granito, pois comprometeu a resistência e a trabalhabilidade do concreto. Barbosa J. et. al. (2003) avaliou a utilização do resíduo de granito na confecção de telhas de concreto. Através dos resultados experimentais, os autores concluíram que a incorporação da lama de granito é viável, pois os parâmetros de absorção de água, carga de ruptura à flexão e a permeabilidade do novo produto está dentro dos padrões exigidos pela NBR 13858-2. A durabilidade do concreto pela adição de resíduos de granito foi estudada por Binici et. al. (2008). Os resultados deste estudo mostraram que a utilização da lama residual melhorou as propriedades mecânicas, a resistência química e a trabalhabilidade dos concretos, quando comparado com os convencionais.

Esta pesquisa foca o resíduo gerado pela indústria de granito que se apresenta inicialmente como resíduos fluidos, rejeitos, chamados de lamas provenientes principalmente dos teares que após processo de secagem em filtro prensa passam a ser considerados como rejeitos sólidos e são dispostos na natureza desta forma.

2. METODOLOGIA

Na primeira etapa da pesquisa realizada até o presente momento coletou-se uma amostra de lama abrasiva na saída do filtro prensa com umidade de 5%, que foi enviada para laboratório

especializado para procedimento de análise química de acordo com a NBR 10004:2004 que normatiza os parâmetros para classificação dos resíduos sólidos.

Verificada a ausência de características como inflamabilidade, corrosividade, toxicidade, reatividade e patogenicidade a amostra foi classificada como resíduo não perigoso Classe II, segundo a NBR 10004:2004. A próxima etapa consistiu em verificar se a amostra era inerte em seguida foram feitos bloquetes com dois traços distintos usando a lama abrasiva. Após a cura os bloquetes foram rompidos de acordo com a NBR 9781:2013, que prescreve o método de determinação da resistência à compressão de peças pré-moldadas de concreto destinadas à pavimentação de pátios de estacionamento, vias urbanas e similares.

3. ANÁLISES E RESULTADOS

O quadro 1 mostra os resultados obtidos para os parâmetros prescritos na NBR 10004:2004 e permitem concluir que se trata de um resíduo inerte classe II B.

Quadro 1. Resultados da análise de resíduo sólido de rochas ornamentais

Amostra	Lama abrasiva (saída do filtro prensa)			Código	3258/11-01	
Coord. Geográficas UTM Datum WGS84				0348992/7928080		
Ensaio	Resultado	Unidade	Limite aceitável (L1)	LQ	Método	
EXTRATO LIXIVIADO						
Massa de amostra pesada	100 ±0,1	G	-	-	NBR-10005:2004	
pH após adição de ácido	5±1	-	-	1 a 14	NBR-10005:2004 e SM -4500+HB	
pH da amostra	11±1	-	-	1 a 14	NBR-10005:2004 e SM – 4500-H+B	
pH final do Extrato Lixiviado	4±1	-	-	1 a 14	NBR-10005:2004 e SM – 4500-H+B	
Solução de Extração	1	-	-	-	NBR-10005:2004	
Tempo de lixiviação	18	H	-	-	NBR-10005:2004	
Teor de sólidos secos	85,0±0,91	%	-	1	NBR-10005:2004 e SM -2540B	

IX SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE

10 a 13 abril de 2016, João Pessoa - PB

Volume de Lixiviado	2000±20	mL	-	-	NBR-10005:2004
PARÂMETROS INORGÂNICOS					
Bário total	<0,005	mg/L	70	0,005	IT-MT-001/IT-MT-002
Cádmio total	<0,13	mg/L	0,5	0,13	IT-MT-001/IT-MT-002
Chumbo total	<0,12	mg/L	1	0,12	IT-MT-001/IT-MT-002
Cromo Total	<0,11	mg/L	5	0,11	IT-MT-001/IT-MT-002
Fluoreto	1,2±0,12	mg/L	150	0,01	IT-IC-001
Prata Total	<0,11	mg/L	5	0,11	IT-MT-001/IT-MT-002
ORGÂNICOS					
Cloreto	<0,1	µg/L	500	0,1	EPA 502-2
FENÓIS POR CROMATOGRAFIA (ASTM)					
Fenol	2,33 ±0.17	µg/L	-	0,37	ASTSM D2580
2-Clorofenol	<0,33	µg/L	-	0,33	ASTSM D2580
2 Metil 4,6- Dinitrofenol	<0,34	µg/L	-	0,34	ASTSM D2580
o-cresol (2-metilfenol)	<0,37	µg/L	200000	0,37	ASTSM D2580
m+p cresol (3+4- metilfenol)	<0,4		400000	0,4	ASTSM D2580
2-Nitrofenol	<0,23	µg/L	-	0,23	ASTSM D2580
2,3,4,6-Tetraclorofenol	<0,32	µg/L	-	0,32	ASTSM D2580
2,4-Diclofenol	<0,35	µg/L	-	0,35	ASTSM D2580
2,4-Dimetifenol	<0,22	µg/L	-	0,22	ASTSM D2580
2,4,5-Triclorofenol	<0,32	µg/L	400000	0,32	ASTSM D2580
2,4,6- Triclorofenol	0,99±0.058	µg/L	20000	0,27	ASTSM D2580
2,6- Diclorofenol	<0,36	µg/L	-	0,36	ASTSM D2580
4-Cloro 3-Metifenol	<0,31	µg/L	-	0,31	ASTSM D2580
4-Nitrofenol	<0,33	µg/L	-	0,33	ASTSM D2580
Pentaclorofenol	1,25±0.075	µg/L	900	0,42	ASTSM D2580
PAHs DISCRIMINADOS E TOTAL					
Naftaleno	<0,49	µg/L	--	0,49	IT- CR-004
Acenaftileno	<0,72	µg/L	--	0,72	IT- CR-004
Acenafteno	<0,51	µg/L	--	0,51	IT- CR-004
Fluoreno	<0,59	µg/L	--	0,59	IT- CR-004
Fenantreno	<0,57	µg/L	--	0,57	IT- CR-004

IX SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE

10 a 13 abril de 2016, João Pessoa - PB

Antraceno	<0,63	µg/L	--	0,63	IT- CR-004
Fluoranteno	<0,52	µg/L	--	0,52	IT- CR-004
Pireno	<0,55	µg/L	--	0,55	IT- CR-004
Benzo(a) Antraceno	<0,04	µg/L	--	0,04	IT- CR-004
Criseno	<0,04	µg/L	--	0,04	IT- CR-004
Benzo (b) Fluoranteno	<0,04	µg/L	--	0,04	IT- CR-004
Benzo (k) Fluoranteno	<0,04	µg/L	--	0,04	IT- CR-004
Benzo (a) Pireno	<0,04	µg/L	70	0,04	IT- CR-004
Dibenzo (a,h) Antraceno	<0,04	µg/L	--	0,04	IT- CR-004
Indeno [1,2,3-cd] Pireno	<0,04	µg/L	--	0,04	IT- CR-004
Benzo (g,h,i) Perileno	<0,55	µg/L	--	0,55	IT- CR-004
PAHs- Total	<0,72	µg/L	--	0,72	IT- CR-004
AMINAS E CLORAMINAS					
Monocloramina	<0,01	mg/L	--	0,01	SM 4500 Cl
Dicloramina	<0,01	mg/L	--	0,01	SM 4500 Cl
N- Nitrosodifenilamina (sc)	<0,2	µg/L	--	0,2	EPA 8070-A
N- Nitrosodimetilamina (SC)	<0,2	µg/L	--	0,2	EPA 8070-A
N- Nitrosodi-n-propilamina (SC)	<0,2	µg/L	--	0,2	EPA 8070-A
OUTROS					
Alumínio totalferro total	0,14± 0.0063	mg/L	--	0,033	IT-FQ-034
Ferro Total	0,99±0.05	mg/L	--	0,094	IT-MT-001/IT-MT-002
Estanho total	0,05 ±0.006	mg/L	--	0,005	IT-MT-001/IT-MT-002
Cobre total	0,23 ±0.012	mg/L	--	0,002	IT-MT-001/IT-MT-002
Manganês total	<0,001	mg/L	--	0,001	IT-MT-001/IT-MT-002
Níquel total	0,91 ± 0,04	mg/L	--	0,005	IT-MT-001/IT-MT-002
Silício total	16,7 ± 0,10	mg/L	--	0,000 1	EPA 6010-C
Zinco total	2,35 ± 0,18	mg/L	--	0,021	IT-MT-001/IT-MT-002
Vanádio total	<0,011	mg/L	--	0,011	IT-MT-001/IT-MT-002
Cloreto	45,9 ± 1	mg/L	--	0,01	IT-IC-001

IX SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE

10 a 13 abril de 2016, João Pessoa - PB

Ensaio	Resultado	Unidade	Limite Aceitavel (L2)	LQ	Método
EXTRATO SOLUBILIZADO					
pH final do extrato solubilizado	11 ± 1	--	--	1 a 14	
Teor de umidade	15,0 ±0.077	%	--	1	NBR-10000:2004
PARÂMETROS INORGÂNICOS					
Alumínio total	0,11 ±0.0052	mg/L	0,2	0,033	IT-FQ-034
Bário total	0,005	mg/L	0,7	0,005	IT-MT-001/IT-MT-002
Cádmio total	0,0002	mg/L	0,005	0,0002	IT-MT-001/IT-MT-002
Chumbo total	0.002	mg/L	0,01	0,002	IT-MT-001/IT-MT-002
Cloreto	60,4 ±1.3	mg/L	250	0,01	IT-IC-001
Cobre total	<0,5	mg/L	2	0,5	IT-MT-001/IT-MT-002
Cromo total	<0,0011	mg/L	0,05	0,0011	IT-MT-001/IT-MT-002
Ferro total	0,23 ±0.011	mg/L	0,3	0,094	IT-MT-001/IT-MT-002
Fluoreto	0,12 ±0.012	mg/L	1,5	0,01	IT-IC-001
Manganês total	<0,088	mg/L	0,1	0,088	IT-MT-001/IT-MT-002
Prata total	<0,001	mg/L	0,05	0,001	IT-MT-001/IT-MT-002
zinco total	1,05 ± 0.08	mg/L	5	0,021	IT-MT-001/IT-MT-002
FENÓIS POR CROMATOGRAFIA (ASTM)					
enol	2,7 ± 0,19	µg/L	--	0,37	ASTM D2580
2-clorofenol	<0,33	µg/L	--	0,33	ASTM D2580
2-Metil 4,6 Dinítrofenol	<0,34	µg/L	--	0,34	ASTM D2580
o-Cresol (2-Metilfenol)	<0,37	µg/L	--	0,37	ASTM D2580
M+p-Cresol (3+4-Metilfenol)	<0,4	µg/L	--	0,4	ASTM D2580
2-Nitrofenol	<0,23	µg/L	--	0,23	ASTM D2580
2,3,4,6-Tetraclorofenol	<0,32	µg/L	--	0,32	ASTM D2580
2,4-Diclorofenol	0,90±0.052	µg/L	--	0,35	ASTM D2580
2,4-Dimetilfenol	<0,22	µg/L	--	0,22	ASTM D2580

IX SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE

10 a 13 abril de 2016, João Pessoa - PB

2,4,5-Triclorofenol	<0,32	µg/L	--	0,32	ASTM D2580
2,4,6-Triclorofenol	<0,27	µg/L	--	0,27	ASTM D2580
2,6-Diclorofenol	0,55±0.032	µg/L	--	0,36	ASTM D2580
4-Cloro 3-Metilfenol	<0,31	µg/L	--	0,31	ASTM D2580
4-Nitrofenol	<0,33	µg/L	--	0,33	ASTM D2580
Pentaclorofenol	1,98±0.14	µg/L	--	0,42	ASTM D2580
Fenol total	6,13±0.43	µg/L	10	0,42	ASTM D2580
PAHs DISCRIMINADOS E TOTAL					
Naftaleno	<0,49	µg/L	--	0,49	IT-CR-004
Acenaftaleno	<0,72	µg/L	--	0,72	IT-CR-004
Acenafteno	<0,51	µg/L	--	0,51	IT-CR-004
Fluoreno	<0,59	µg/L	--	0,59	IT-CR-004
Fenantreno	<0,57	µg/L	--	0,57	IT-CR-004
Antraceno	<0,63	µg/L	--	0,63	IT-CR-004
Fluoranteno	<0,52	µg/L	--	0,52	IT-CR-004
Pireno	<0,55	µg/L	--	0,55	IT-CR-004
Benzol (a) Antraceno	<0,04	µg/L	--	0,04	IT-CR-004
Criseno	<0,04	µg/L	--	0,04	IT-CR-004
Benzol (b) Fluoranteno	<0,04	µg/L	--	0,04	IT-CR-004
Benzol (k) Fluoranteno	<0,04	µg/L	--	0,04	IT-CR-004
Benzol (a) Pireno	<0,04	µg/L	--	0,04	IT-CR-004
Dibenzol (a,h) Antraceno	<0,04	µg/L	--	0,04	IT-CR-004

IX SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE

10 a 13 abril de 2016, João Pessoa - PB

Indenol [1,2,3-cd] Pireno	<0,04	µg/L	--	0,04	IT-CR-004
Benzol (g,h,i) Perileno	<0,55	µg/L	--	0,55	IT-CR-004
PAHs total	<0,72	µg/L	--	0,72	IT-CR-004
AMINAS E CLORAMINAS					
Monocloramina	<0,01	Mg/L	--	0,01	SM 4500 Cl
Dicloramina	<0,01	Mg/L	--	0,01	SM 4500 Cl
N-Nitrosodifenilamina (SC)	<0,2	µg/L	--	0,2	EPA 8070-A
N-Nitrosodimetilamina (SC)	<0,2	µg/L	--	0,2	EPA 8070-A
N-Nitrosodi-n-propilamina (SC)	<0,2	µg/L	--	0,2	EPA 8070-A
OUTROS					
Cloreto de vinila	<0,1	µg/L	--	0,1	EPA 502-2
Estanho total	0,03±0.0035	mg/L	--	0,005	IT-MT-001/IT-MT-002
Níquel total	0,24±0.012	mg/L	--	0,005	IT-MT-001/IT-MT-002
Silício total (SC)	11,2±0.092	mg/L	--	0,000 1	EPA 6010-C
Vanádio total	<0,011	mg/L	--	0,011	IT-MT-001/IT-MT-002

A partir da constatação de que o resíduo sólido com 5% de umidade proveniente do filtro prensa é um material que pode ser classificado de acordo com a NBR 10004:2004 como resíduo sólido inerte classe II B produziu-se bloquetes com os seguintes traços:

- Traço 1 - foram utilizados 2 baldes de areia (57,94 kg), 3 baldes de lama de tear (51,12 kg), 2 baldes de brita zero (63,54 kg), 1 balde de cimento (16,4 kg), a/c = 0,60, obteve-se 15 peças.
- Traço 2 - foram utilizados 2 baldes de areia (57,94 kg), 4 baldes de lama de tear (68,2 kg), 3 baldes de brita zero (95,25), 1 balde de cimento (17,2 kg), a/c = 0,65, obteve-se 20 peças.

O quadro 2 mostra as dimensões dos corpos-de-prova, a carga máxima ao qual foram submetidos e a resistência à compressão apresentada por cada um dos doze corpos de prova. Como pode ser observado com o traço 1 foram obtidos valores de resistência à compressão sempre superiores à 30 MPa mais próximo, portanto, do estabelecido na NBR 9780 que prescreve que para o uso a resistência tem que ser de 35 MPa.

O quadro 2. Dimensões e resistência à compressão dos bloquetes

TRAÇO	C.P.Nº	Altura (mm)	Área (m ²)	Carga Máxima (N)	Resistência compressão (MPa)
1	1	80	6361,54	127843,95	30,10
1	2	80	6361,54	106442,45	36,73
1	3	80	6361,54	136037,27	31,38
1	4	80	6361,54	116401,57	38,30
1	5	80	6361,54	139780,76	31,97
1	6	80	6361,54	132117,19	30,77
2	1	80	6361,54	71550,23	21,25
2	2	80	6361,54	97931,29	25,39
2	3	80	6361,54	87830,91	23,81
2	4	80	6361,54	98955,46	25,56
2	5	80	6361,54	106513,08	26,74
2	6	80	6361,54	109832,79	27,27

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos bibliográficos realizados demonstram a necessidade de abordagem sustentável e de se pesquisar o aproveitamento da lama de granito como insumo para geração de novos produtos, conseqüentemente contribuir para a preservação do meio ambiente. A fabricação de bloquetes é uma atividade que poderá absorver grande quantidade do resíduo proveniente do beneficiamento de rochas ornamentais, para tanto, é preciso estabelecer um traço adequado para

o concreto que atenda as especificações das normas técnicas usando a lama como um dos agregados. O uso da lama além de contribuir com a construção civil ao forjar no concreto características como rápido endurecimento e maior resistência pode diminuir custos com a aquisição de outros agregados e ainda servir como importante medida mitigadora para os impactos ambientais causados pelo setor mineral de rochas ornamentais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKBULUT, Hüseyin; GÜRER, Cahit; ÇETIN, Sedat; ELMACI, Ayfer. Investigation of using granite sludge as filler in bituminous hot mixtures. **Construction and Building Materials**. n. 36, p. 430–436, 2012.

AL-HAMAEDEH, Husam D.; KHUSHEFATI, Waleed H. Granite Sludge Reuse in Mortar and Concrete. **Journal of Applied Sciences**. n.13(3), p 444-450, 2013.

ALVES, Moisés Silva. **Estudo das características e da viabilidade do uso de resíduos gerados no polimento de rochas graníticas como adição em concretos**. Dissertação de Mestrado em Construção Civil –Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ISMS-7HXJ25/dissertação_mestrado_mois_s.pdf?sequence=1>. Acessoem: 27 de Junho de 2013.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALIZATION. **NF X 31-211**: Caractérisation des déchets: essai de lixiviation d'un déchet solide initialement massif ou généré par un procédé de solidification. Paris, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Norma de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781** Peças de concreto para pavimentação – Especificação e método de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10005**: SM 4500 + HB procedimentos para PH após adição de ácido. Rio de Janeiro, 2004b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10005**: SM - 2540B, teor de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13858**: Telhas de concreto - Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2009.

BACARJI, E.; TOLEDO FILHO, R.D.; KOENDERS, E.A.B.; FIGUEIREDO, E.P.; LOPES, J.L.M.P. Sustainability perspective of marble and granite residues as concrete Fillers. **Construction and Building Materials**. n. 45, p. 1–10, 2013.

BARBOSA, J. F.; da COSTA, V. S.; LIMA, M. R. P. Avaliação da utilização de lama abrasiva gerada no beneficiamento de mármore e granito para confecção de telhas de concreto. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**. v.8, n.1, p 30–35, 2013.

BINICI, Hanifi; SHAH, Tahir; AKSOGAN, Orhan; KAPLAN, Hasan. Durability of concrete made with granite and marble as recycle aggregates. **Journal Of Materials Processing Technology**. n.208, p 299–308, 2008.

LI, Ying; YU, Hongfa; ZHENG, Lina; WEN, Jing; WU, Chengyou; TAN, Yongshan. Compressive strength of fly ash magnesium oxychloride cement containing granite wastes. **Construction and Building Materials**. n.38, p 1–7, 2013.

LIMA, Rosa do Carmo de Oliveira. LIMA, Rosa do Carmo de Oliveira. **Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010. Disponível em: <http://www.coenge.ufcg.edu.br/publicacoes/Public_375.pdf>. Acesso em: 22 de Agosto de 2015.

MENEZES, Romualdo Rodrigues; NEVES, Gelmires de Araújo; FERREIRA, Helber Carlos; LIRA, Hélio de Lucena. Recycling of granite industry waste from the northeast region of Brazil. **Environmental Management and Health**. vol.13, n.2, p 134 -141, 2002.

SILVA, J.B.; HOTZA, D.; SEGADÃES, A. M.; ACCHAR, W. Incorporação de lama de mármore e granito em massas argilosas. **Cerâmica**. n.51, p 325–330, 2005.

TORRES, P.; FERNANDES, H. R.; OLHERO, S.; FERREIRA, J. M. F. Incorporation of wastes from granite rock cutting and polishing industries to produce roof tiles. **Journal of the European Ceramic Society**. n. 29, p 23–30, 2009.

VITÓRIA STONE FAIR. O Setor. Disponível em: <<http://www.vitoriastonefair.com.br/site/2013/pt/setor>>. Acesso em: 5 de Outubro de 2015.

WOORDARD & CURRAN INC. Solid Waste Treatment and Disposal. In: **Industrial Waste Treatment Handbook**, 2nd Edition. Elsevier, 549p., cap. 9, p 363–408, 2006.

A SUSTENTABILIDADE NA GESTÃO DE RESÍDUOS PARA O APROVEITAMENTO DE MATERIAIS DE REJEITOS DAS ROCHAS ORNAMENTAIS EM MARMORARIAS

Jonas Ronald Guilhermino da Silva¹, Júlio César de Souza², Farah Diba da Silva³, Fernando Gomes de Paiva Júnior⁴

¹ Administrador, M. Sc., Empresário

² Engenheiro de Minas, docente, UFPE

³ Geógrafa, doutoranda, UFPE

⁴ Administrador, docente, UFPE

Jonas_ronald@hotmail.com

RESUMO

O objetivo deste estudo foi averiguar a efetividade de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) como fator principal para se reutilizar todo o material rejeitado, conhecido como “sobras e cacos”, no âmbito de uma marmoraria, buscando-se alternativas sustentáveis para a organização, controle e destinação adequada de cada material a ser aproveitado. Um dos fatores de viabilização econômica desses materiais consiste na forma de seu manuseio na construção civil. Com combinações de britados de rochas podem ser desenvolvidos painéis e mosaicos e aplicados em fachadas ou calçamentos residenciais e comerciais agregando um valor nobre ao empreendimento. A viabilidade do reuso dos rejeitos gerados no segmento de rochas ornamentais resulta em um processo inovador ao setor e seus demais segmentos e o reconhecimento do empreendedor sobre a oportunidade de aproveitar o material, antes descartável, em alternativas de ganhos econômicos e agregação de valor à produção.

PALAVRAS-CHAVE: Inovação; Empreendedorismo; Alternativas Sustentáveis; Setor de Rochas Ornamentais.

ABSTRACT

The goal of this study is to evaluate effectiveness of Environmental Management Sustainable as principal method to reuse leftovers and broken materials of granite and marble inside production area finding sustainable alternatives to the organization with control and correct disposition for each material to be used. One the economic practicable factor is use these materials in building and architecture projects. The development of a project using mix of rock crushed of marble or granite in home facades and commercial buildings aggregate a noble value in the venture. The viability of use the industrial waste in the ornamental stone sector results in economic, social and environmental gains generating a innovative process in stones sector as well as in others industry segments assigning effectiveness in the ecologic vision in the reuse of these materials classified as waste. The enterpriser of this sector knows that has the opportunity to use the disposable material avoiding incorrect disposition with the possibility of financial and nobility gains in their projects and production.

KEY-WORDS: Innovation; entrepreneurship; Sustainable Alternatives; Ornamental Stones Segment.

1. INTRODUÇÃO

Durante muitos anos os recursos naturais foram explorados e industrializados de forma desordenada gerando degradação do meio ambiente e efeitos colaterais ao homem. No entanto, nos últimos tempos com o agravamento dos problemas ambientais em todo o mundo surgiu-se a preocupação da preservação dos recursos e exploração sustentável dando início a debates e eventos nacionais para discutir a questão ambiental.

Atualmente, o segmento de rochas ornamentais e de revestimentos tem apresentado crescimento significativo e já representa um percentual importante na pauta de exportações do setor mineral brasileiro. Esse crescimento está relacionado ao forte investimento em tecnologia para melhoria da produtividade da produção além do desenvolvimento de metodologias que visam o aproveitamento de rejeito de granitos e mármore, considerados antes como descartáveis, em projetos arquitetônicos urbanos comerciais e residenciais, fortalecendo a importância do descarte ambientalmente sustentável e gerando ganhos econômicos devido à redução dos custos produtivos para execução dos trabalhos. No entanto, o crescimento do setor pode ser afetado devido aos fatores relacionados à produção, sendo necessários investimentos em qualificação de mão de obra e maquinário.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A inovação

A inovação é a possível forma de tornar algo novo, alterar ou modificar, introduzindo novidades que geram um diferencial competitivo podendo ser no produto, processos, e até mesmo em técnicas de criação. Uma invenção pode ser uma ideia, uma solução ou um conceito onde não se tem nada idealizado novo ou modificado, não necessariamente gerando impacto econômico ou social. A idealização das definições de inovação estabelece um modelo para ser seguido em seus procedimentos. Estudos apontam que existe certa dificuldade no sentido de se mensurar a inovação em uma empresa, a existência de modelos para avaliação resulta traçar o perfil do nível de inovação organizacional. Um desses procedimentos metodológicos adotados estabelece comparações em cinco modelos baseados em algumas contribuições de autores e entidades considerados renomados no que tange à temática abordada no grau de inovação organizacional.

3. REFERENCIAL METODOLÓGICO

Objeto de estudo

O objeto de estudo foi uma marmoraria localizada na cidade de Cabo de Santo Agostinho, região metropolitana de Recife, no estado de Pernambuco. A razão da escolha desta marmoraria como objeto de estudo justifica-se pelo fato de que, a mesma está instalada há dez anos na região e seu fundador está em busca de alternativas para o desenvolvimento sustentável de seus negócios adotando um posicionamento de responsabilidade social e ambiental com seus colaboradores e a sociedade.

Tratamento dos dados utilizados da pesquisa

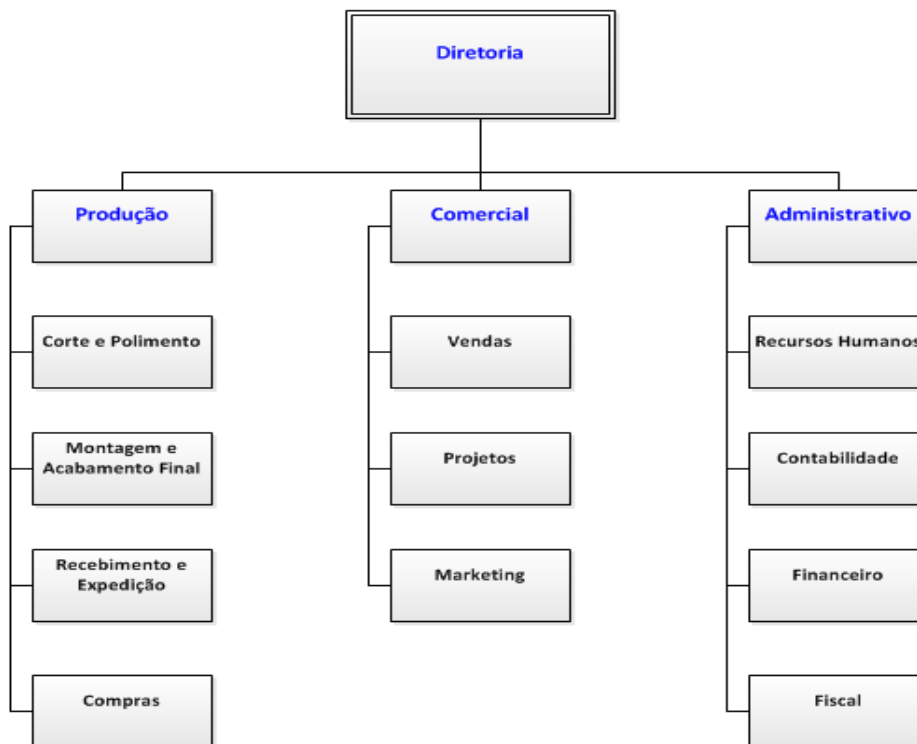
As principais fontes de pesquisas foram visitas às instalações da empresa tendo como guia das entrevistas o proprietário da empresa e o líder do setor de produção registrando os dados no diário de campo.

Além disso, foram realizadas entrevistas informais com funcionários para identificar como a questão da preocupação com o meio-ambiente está inserida no ambiente de trabalho, e acompanhamento do dia-a-dia da empresa para identificar as oportunidades de melhoria destacando as mudanças que podem ser aplicadas de acordo com o investimento necessário considerando desde as ações com custo “zero” até aquelas que necessitam investimento em infraestrutura ou maquinários.

4. A MARMORARIA

Estrutura organizacional

A marmoraria iniciou suas atividades em 2004 e atualmente possui 10 funcionários considerando todos os setores, sejam eles, produtivos, comerciais ou administrativos. Basicamente a empresa trabalha com chapas de granitos e mármore e através dos projetos solicitados pelo cliente são produzidos produtos como pias, balcões, mesas, além de escadas, soleiras e montantes e outros produtos que podem ser solicitados por arquitetos ou empresas. Assim a empresa tem uma estrutura organizacional hierárquica vertical subdividido em três setores, conforme figura 1.

Figura 1 - Organograma hierárquico da estrutura administrativa da marmoraria piloto

Fonte - Elaborada pelos autores (2014).

Aspectos operacionais no ambiente produtivo

As etapas de produção na marmoraria são: recorte de chapas, acabamento, colagem, aplicação de acessórios, acabamento final, conferência das peças prontas, limpeza final e entrega do produto para expedição. O processo produtivo inicia com o estudo das especificações da peça a ser produzida e recorte das chapas de mármore ou granito de acordo com as medidas solicitadas pelo cliente, selecionando o material a ser recortado no estoque de chapas e encaminhando a mesma para o setor de produção. A etapa seguinte reside na verificação do recorte do material comparando com as medidas especificadas na ordem de produção.

O processo de acabamento e polimento das peças inicia-se após a etapa de conferência e verificação do corte, fazendo-se a leitura da ordem de produção e observando o tipo de acabamento especificado pelo projeto, escolhendo-se a sequência adequada das lixas necessárias para o polimento planejado. O decurso da produção direciona apenas as peças que necessitam de colagem para complementação de alguma parte do projeto ou a aplicação de algum tipo de item acessório como nos casos de balcões e pias onde é necessária a inclusão de cuba de aço inox ou outro item especificado no projeto. Após essas etapas tem-se a verificação da qualidade final do acabamento realizado. Estando o acabamento adequado a peça é enviada a próxima etapa do

processo. A etapa final do processo consiste na entrega do material para o setor de expedição o qual é armazenado e fica a espera do cliente para proceder a sua retirada ou é realizada a entrega no local de sua aplicação.

Gestão de resíduos na Marmoraria

A criação de um modelo de gestão de resíduos para o tratamento dos resíduos sólidos e efluentes líquidos gerados em marmorarias é de suma importância para uma gestão do controle dos materiais, além de permitir ganhos econômicos e ambientais. O modelo foca alternativas para o destino, reuso dos materiais e práticas de redução de custos em toda marmoraria, destacando-se o setor de produção onde se encontram os maiores custos da empresa. Para implantação e aplicação de um sistema de gestão ambiental numa empresa de pequeno porte é de suma importância à conscientização do empresário em relação aos problemas ambientais, enfatizando todos os seus colaboradores a terem a mesma política no interior da empresa.

Foi elaborado um modelo de gestão de resíduos junto à marmoraria, com metas a serem alcançadas, na forma de objetivos, de acordo com os princípios dos modelos encontrados no SGA.

- Implantar os procedimentos ambientais para as atividades técnicas relativas às condições e manejo do material no ambiente de produção;
- Atender a todas as demandas em termos de elaboração de procedimentos e mecanismos para a coordenação e articulação adequadas das ações ambientais durante os procedimentos de fabricação;
- Orientar todas as equipes da empresa a seguir as metas implantadas na empresa para que obtenham resultados satisfatórios;

Alguns procedimentos que auxiliam na redução da geração de resíduos relacionam-se com as condições de operação dentro do sistema produtivo, um exemplo disso é a manutenção preventiva dos equipamentos. As máquinas que são utilizadas para o momento de acabamento sofrem muitas avarias sejam elas pelo manuseio, desgaste mecânico e até mesmo pela ocorrência do pó fino dentro de sua mecânica. A manutenção desses equipamentos normalmente é realizada por empresas que prestam serviços em manutenção. As peças das máquinas quando apresentam falhas e não há condições de conserto seja ele pelo custo elevado ou não ter solução, devem ser direcionadas ao ferro velho.

Assim, os insumos utilizados na produção como rebolos, lixas, disco diamantados para serra mármore, discos de papelão e estopas são encaminhados a lixos comuns. Os mesmos podem ser direcionados para empresas de reciclagem, pois muitos são materiais passíveis de reutilização. Os

discos de serra utilizados para corte das chapas são usados até o fim de sua vida útil, sendo descartados e encaminhados ao ferro velho.

A marmoraria reutiliza todo o material de rejeito de aparas, sobras e cacos no momento do corte ou desenho do projeto aplicando os mesmos em produtos que poderão ser utilizados em projetos de paisagismo na forma de seixos, pedras roladas e até mesmo brita graúda. O material britado pode ser utilizado para confecção de compósitos com resina acrílica e ser utilizado como matéria-prima para fabricação de artefatos, tais como: tampos de mesa, centros e aparadores.

No processo de corte é gerado um resíduo denominado de lama o qual é assentado no fundo do tanque. Chegando ao limite demarcado, faz-se a disposição do material para uma área de aterro. Esse material, devidamente separado, pode ser utilizado como matéria-prima para fabricação de materiais cerâmicos, argamassas (em especial de rejunte) e compósitos com resinas.

Reutilização dos rejeitos na arquitetura residencial e comercial.

O processo de corte normalmente é gerador de grande quantidade de resíduos sólidos na forma de tiras e pedaços de rocha. É nesse momento que ocorre a disposição incorreta do material por não se ter a preocupação de armazenar as sobras em local adequado para um posterior aproveitamento. Essas pilhas de rejeitos trazem uma poluição visual, atrapalham a circulação e até mesmo causam certa inconveniência para o operador da máquina em função do acúmulo de material ao redor da máquina de corte.

Comumente as sobras de material no momento do recorte das peças vão sendo empilhadas de forma incorreta não tendo-se nenhuma separação dos materiais a serem aproveitados. Devidamente separados e classificados é possível o seu aproveitamento na forma de uma série de produtos, como mostrado na figura 2.

Figuras 2 - Reutilização dos rejeitos gerados na linha de produção



Fonte - Elaborada pelos autores (2014)

Através um levantamento de dos aspectos relativos aos passivos ambientais na marmoraria percebeu-se que o descarte dos rejeitos, pratica comum na empresa em função de ser a forma mais rápida de desocupar o pátio da empresa, não era a solução ideal. A construção de painéis e mosaicos com sobras de cacos e tiras é uma prática evidente e possível de ser utilizada e pode consumir uma quantidade razoável de resíduos sólidos gerando valor agregado e elementos de alto valor estético e artístico como no exemplo da figura 3 (revestimento horizontal).

Figura 3 - Mosaico de sobras de rocha ornamental aplicado no piso do Shopping Praça da Alfândega.



Fonte - Elaborada pelos Autores (2014)

O material classificado como passivo ambiental também pode ser direcionado na confecção de revestimentos verticais (paredes) e também obras artísticas como a confecção de paisagens, painéis, logomarca de empresas, entre outros, como mostrado na figura 4.

Figura 4 - Aplicação de cacos e aparas em painéis verticais (logomarca e parede de edifício).



Fonte - Elaborada pelos Autores (2014)

Para implantação dessa metodologia de aproveitamento das sobras e aparas, é mister que se tenha junto ao setor produtivo uma rotina correta visando a separação e seleção dos rejeitos sólidos por tipo e cores devendo os mesmos serem armazenados em pilhas tipo “bacias” para uma melhor visualização de material acumulado dentro da empresa facilitando a sua futura utilização. A viabilidade do rejeito industrial em fachadas pode resultar em uma aplicação nobre e que pode valorizar o comércio do setor de restaurantes, centros empresariais, lojas, escritórios e demais segmentos. Foi viabilizado para a montagem do painel vertical da figura 5 a seguir, cacos de

rochas como o granito Vermelho Brasília, Amarelo Icará e o granito Preto São Gabriel. Para a execução do revestimento da parede foi utilizado o calcário denominado de Pedra Cariri, de cor dominante amarelo. A Pedra Cariri foi obtida a partir de tiras e de placas quebradas e que somaria volume no pátio da marmoraria. A aplicação de cacos e tiras faz parte do plano de gestão de resíduo na marmoraria. A montagem do painel vertical na figura 5 se caracterizou pela aplicação de aparas e sobras de granito destacando o reaproveitamento do material rochoso na confecção de logomarcas e demais utilizações.

Figura 5 - Aplicação de cacos e aparas na montagem do painel vertical (logomarca do Juanito tacos).



Fonte - Elaborada pelos Autores (2014).

A utilização do material britado nos projetos de jardinagem e decoração.

O material britado tem várias formas de aproveitamento em jardinagem, decoração de ambientes ou até em fachadas de casas. A aplicação para revestimentos de paredes pode ser uma alternativa econômica interessante, produzindo efeitos estéticos semelhantes à técnica de “fulget”, bastante divulgada no setor da construção civil. Desde que convenientemente separadas em cores, as sobras podem se constituir em matéria-prima para obtenção de produtos britados em diversas granulometrias com um campo de aplicação vasto e gerador de receitas alternativas para as marmorarias. A figura 6 mostra o procedimento operacional básico para produção de material britado junto à marmoraria utilizado como detalhe paisagístico na decoração de um jardim.

Figura 6 - Processo de produção de material britado de sobras de rocha ornamental

Fonte - Elaborada pelos Autores (2014).

O material britado em frações adequadas e homogêneas também pode ser matéria-prima para aplicações em revestimento horizontal ou vertical através da técnica do *fulget*, que é um material antiderrapante utilizado em locais secos ou molhado, apropriado tanto para ambientes internos como externos. A sua aplicação pode ser direcionada a rampas, salas, calçadas, ambientes internos e externos como fachadas de casas, prédios e em volta de ambientes como piscinas. A figura 7 exemplifica a utilização de restos de marmoraria britados na forma de *fulget* em revestimento externo de pisos.

Figura 7 - Aplicação de material britado em piso na forma de Fulget

Fonte – GR Pisos (2014).

5. CONCLUSÕES

A maior parte dos processos produtivos são potenciais geradores de resíduos que provocam algum tipo de passivo ambiental. As marmorarias geram resíduos sólidos que são normalmente descartados diretamente no meio ambiente. Nesse contexto, a reciclagem e o reaproveitamento dos resíduos gerados do beneficiamento de granitos e mármore podem ser vistos como uma

oportunidade de negócios ecologicamente viável, minimizando os grandes volumes dispostos em aterros contribuindo para o desenvolvimento sustentável das cidades. O tema ambiental é uma preocupação dentro do setor de rochas ornamentais como uma comprovação que o crescimento econômico em longo prazo só é possível quando acompanhado da atenção ao social impactado pelas indústrias combinado ao conceito de sustentabilidade ambiental. Uma empresa para ter uma vantagem competitiva precisa ter uma sustentação através de três estratégias: liderança de custo, diferenciação de serviços e produtos; e foco em inovação, detectando nichos específicos de mercado decorrentes de novas necessidades ou desejos dos clientes em potencial. A adoção de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) está ligada às estratégias de diminuição de custo e diferenciação. Os pressupostos da Gestão Ambiental estão interligados a economia de insumos, soluções para o melhor aproveitamento da matéria-prima, reutilização de resíduos de processo e sobras de matéria-prima, utilização eficiente da mão de obra e recursos da produção. A implantação dessas atitudes junto à estrutura produtiva das empresas se reflete normalmente na diminuição de custos da empresa e conseqüentemente num aumento da competitividade da mesma junto ao mercado. O reaproveitamento dos resíduos segue essa linha de pensamento garantindo por outro lado uma maior vida útil dos recursos naturais não renováveis, tendo em vista que a reutilização desses resíduos tem sido pouco estudada e implantada pelas empresas do setor.

CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS MINERAIS PROVENIENTES DE RESÍDUOS GROSSEIROS DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Bruno Alves Carlete¹, Hieres Vettorazzi da Silva², Nuria Fernández Castro³

¹ Graduando em Engenharia de Minas, IFES - Instituto Federal do Espírito Santo

² Geólogo, CETEM/NRES

³ Engenheira de Minas, CETEM/NRES

RESUMO

O objetivo deste estudo é caracterizar tecnologicamente agregados para uso em produtos de concreto, produzidos a partir da britagem e classificação de resíduos grosseiros da serragem de blocos de rochas ornamentais. Amostras de cinco tipos litológicos diferentes foram selecionadas e coletadas em um aterro industrial, localizado no município de Cachoeiro de Itapemirim-ES. As amostras foram britadas e os agregados produzidos, brita 0, brita 1 e pó de pedra, foram caracterizados quanto à granulometria, massa específica, absorção d'água, resistência ao impacto, resistência à abrasão Los Angeles e módulo de finura, seguindo normas em vigência. Os resultados, ainda preliminares, mostram que nem todos os produtos gerados atendem às especificações das normas, o que poderia se dever à qualidade natural dos materiais, a alterações durante os processos de extração e beneficiamento das rochas ou à qualidade da britagem, realizada em equipamento ainda em fase de regulagem, no próprio aterro.

PALAVRAS CHAVE: agregados, sustentabilidade, rochas ornamentais.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the use of dimension stones processing wastes as aggregates in concrete products. Thus, samples of five different rock types of coarse residues from the blocks sawing process, were selected and collected in an industrial landfill located in the Cachoeiro de Itapemirim city, of the State of Espírito Santo. After crushing and classification, the technological characterization, regarding specific mass and water absorption, particle size analysis, and abrasion and impact strength was performed, following Brazilian standards. Preliminary results showed that not all products meet the requirements to be used as concrete aggregates, according those standards, which could be due to the natural quality of

materials selected or to alterations suffered during mining and sawing processes or, still, influenced by the crushing equipment used, recently installed in the landfill area and not yet perfectly set up.

KEYWORDS: aggregates, sustainability, dimension stones.

1. INTRODUÇÃO

Os agregados para indústria da construção civil são os insumos mais consumidos no Brasil e no mundo. Segundo IBRAM (2012) em 14 anos, a demanda por agregados da construção civil partiu de 460 milhões de toneladas (1997) para 673 milhões de toneladas (2011). O crescimento da demanda foi de 82,3%, correspondente a um Compound Annual Growth Rate (CAGR) de 6,8% a.a. O setor foi um dos poucos que não sentiu o impacto das crises internacionais de 2008/9 e 2011/12.

Segundo dados mais recentes obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) e Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) o consumo de agregados no ano de 2013 foi de 670.867.514 toneladas, sendo que desse total 293.619.729 toneladas são referentes a brita e cascalho, representando 43.77% do total de agregados consumidos pelo Brasil no referido ano. Os dados mais recentes do consumo de agregados pelo estado do Espírito Santo são do ano de 2011, com um consumo total de 13.877.637 toneladas de agregados em geral e 6.050.982 toneladas de brita e cascalho, representando 2.25% do consumo total de brita e cascalho no Brasil em 2011.

Segundo o site da Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil (ANEPAC), o consumo de brita e cascalho está dividido em 32% para concreteiras, 24% construtoras, 14% pré-fabricados, 10% revendedores/lojas, 9% pavimentadoras/usinas de asfalto, 7% órgãos públicos e 4% outros.

Os agregados são definidos como materiais granulares, sem volume definido, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia civil. Ocupam de 60 a 80% do volume total do concreto, sendo suas características de grande importância para a qualidade final dos produtos. Têm a função de conferir resistência, durabilidade e trabalhabilidade aos concretos, em suas várias utilizações. Seu consumo é praticamente exclusivo na indústria da construção, em setores como o de edificações e de obras de infraestrutura.

Os principais tipos de agregados comercializados na construção civil são: a brita 1 com granulometria variando de 9,5 mm à 19 mm, usado intensivamente na fabricação de concreto, com inúmeras aplicações como na construção de pontes, edificações e grandes lajes, a brita 0 com granulometria variando de 4,8 mm a 9,5 mm, é utilizada principalmente na confecção de lajotas, bloquetes, intertravados, lajes, jateamento de túneis e acabamentos em geral, enquanto a areia de brita com granulometria inferior a

0,074 mm possui emprego no assentamento de bloquetes, tubulações em geral, tanques, embolso, podendo entrar também na composição de traços de concreto e asfalto.

Diante de um cenário crescente no consumo de agregados e de aumento de iniciativas sustentáveis na produção dos recursos minerais não renováveis, novas rotas de aproveitamento econômico de resíduos em substituição aos agregados minerais vêm sendo desenvolvidas por institutos de pesquisa, associações e empresas.

Segundo Kulaif (2014), os principais substitutos em utilização são as escórias siderúrgicas, as argilas expandidas, e os resíduos grosseiros da construção e demolição (RCD) e de rochas ornamentais.

Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS) o setor brasileiro de rochas ornamentais, em 2014 produziu 10,13 milhões de toneladas de rochas ornamentais. A produção de rochas ornamentais no estado do Espírito Santo corresponde a 47% de toda a produção nacional.

Na cadeia produtiva de rochas ornamentais, durante o processo de serragem dos blocos em chapas, em torno de 14% do volume dos blocos serrados são transformados em resíduos grosseiros (VIDAL et al, 2014). De morfologia tabular e espessura de 7 a 15 cm, são conhecidos, no meio, como “casqueiros” e devem ser adequadamente dispostos em aterros licenciados até o surgimento de rotas de aproveitamento devidamente comprovadas, atendendo à Política Nacional de Resíduos Sólidos.

A empresa gestora de um aterro licenciado em Cachoeiro de Itapemirim pretende dar uma destinação comercial aos resíduos gerados pelas empresas associadas, sob a forma de produtos de agregados minerais em diferentes graduações. Para isso, e por meio do Termo de Cooperação Técnico-Científica, o Núcleo Regional do Espírito Santo do Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/NRES busca atestar a viabilidade técnica do uso desses produtos como agregados conforme as especificações da norma NBR 7211/2009 da ABNT e de empresas da construção.

2. OBJETIVOS

Catalogar e identificar entre 18 tipos de materiais de maior abundância pré-selecionados no aterro de resíduos da associação, os que se enquadram nas normas brasileiras vigentes utilizadas para especificação e uso na composição de produtos de concreto. Na primeira fase deste estudo busca-se caracterizar cinco materiais de tipos litológicos distintos, e em fases posteriores, pretende-se realizar a caracterização dos demais materiais. Por fim, sugerir a criação de um mix com os materiais que apresentarem resultados dentro do aceitável, possibilitando sua comercialização.

3. METODOLOGIA

Para a elaboração deste trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre agregados na construção civil e os ensaios de caracterização tecnológica, realizados rotineiramente de acordo com as normas técnicas em vigência. A seguir, oito visitas técnicas foram efetuadas ao depósito de resíduos da associação onde foram inicialmente selecionados cinco materiais litologicamente distintos e de maior abundância no aterro: Amarelo Santa Cecília: metamórfico, bandado e alterado; Marrom Absoluto: ígneo extrusivo, afanítico com vesículas e, portanto, consideravelmente isotrópico; Cinza Andorinha: de estrutura bandada incipiente e granulometria fina; Indigo: metamórfico, bandado, inalterado e com maior ocorrência de minerais máficos; e Branco Itaúnas: de granulometria fina a média com maior quantidade de quartzo e feldspato.

Foram coletados 150 kg de amostra de cada tipo, de acordo à ABNT NBR 10007. As amostras foram britadas e classificadas em brita 1, brita 0 e pó de pedra, na própria usina de britagem do aterro, ainda em fase de regulação. Os produtos foram homogeneizados na usina piloto do NRES e reduzidos em alíquotas de 25 kg para a realização dos ensaios de caracterização.

Os ensaios de caracterização tecnológica selecionados para este estudo foram:

- Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água – ABNT NBR NM 53.
- Ensaio e abrasão “Los Angeles” – ABNT NBR NM 51.
- Determinação da composição granulométrica – ABNT NBR NM 248.
- Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio – ABNT NBR 7809.
- Determinação da perda ao choque no aparelho Treton – DNER-ME 399/99.
- Determinação da densidade real do agregado miúdo – DNER-ME 084/95.

Os laboratórios nos quais os ensaios acima citados foram realizados, passou recentemente por processo de acreditação do INMETRO para caracterização tecnológica de rochas ornamentais. Este processo ocorreu no intervalo entre os ensaios preliminares e os ensaios de confirmação de resultados, assim, os resultados obtidos nos ensaios de confirmação podem ter sido afetados em virtude da recalibração de alguns equipamentos de uso comum.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nos ensaios realizados para este estudo estão dispostos na Tabela 1 de acordo com sua norma vigente. Para cada material foram feitos 2 ensaios, com a finalidade de confirmar os resultados obtidos.

Tabela 1: Resultados dos ensaios

Ensaio de Caracterização	Cinza Andorinha		Amarelo Santa Cecília		Indigo		Marrom Absoluto		Branco Itaúnas	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	Massa específica ⁱ (g/cm ³)	2,68	2,64	2,65	2,61	2,70	2,65	2,70	2,65	2,63
Massa específica do agregado saturado com superfície seca ⁱ (g/cm ³)	2,60	2,59	2,59	2,57	2,62	2,60	2,60	2,58	2,55	2,56
Massa específica aparente ⁱ (g/cm ³)	2,56	2,56	2,55	2,55	2,58	2,57	2,55	2,53	2,50	2,53
Absorção de água ⁱ (%)	1,72	1,17	1,51	0,98	1,75	1,19	2,19	1,79	2,08	1,19
Densidade real ⁱⁱ (g/cm ³)	2,58	2,58	2,66	2,66	2,61	2,61	2,60	2,60	2,62	2,62
Perda ao choque ⁱⁱⁱ (%)	34,25	34,51	29,24	00,00	28,58	00,00	9,18	00,00	42,41	00,00
Perda por abrasão- brita 1 ^{iv} (%)	50,21	60,15	52,04	54,01	56,44	59,23	18,77	18,21	64,42	64,58
Perda por abrasão- brita 0 ^{iv} (%)	57,01	59,85	52,78	52,55	59,32	57,38	26,78	23,61	63,91	60,56
Módulo de finura	3,39	3,27	3,38	3,50	3,82	3,43	3,76	4,09	4,14	3,51

(i) ABNT NBR NM 53; (ii) DNER-ME 084/95; (iii) DNER-ME 399/99; (iv) ABNT NBR NM 51.

4.1 Mineralogia

As amostras dos materiais em estudos nessa etapa do projeto, são resíduos de rochas ornamentais de diferentes tipos litológicos, são eles: granitos Cinza Andorinha, Amarelo Santa Cecília, Branco Itaúnas, Indigo e Marrom Absoluto.

A tabela 2 apresenta as composições mineralógicas dos materiais amostrados nessa primeira fase, conforme Alencar (2013).

Tabela 2: Composição mineralógica das amostras

	Cinza Andorinha	Amarelo Santa Cecília	Indigo	Marrom Absoluto	Branco Itaúnas
Feldspato potássico	33%	34%	28%	presente	40%
Plagioclásio	23%	20%	28%	-	25% – 30%
Quartzo	20%	25%	24%	presente	30%
Micas	Biotita 20%	Biotita 10%	5%	presente	Biotita e Muscovita
Granada	-	7%	15%	-	5%
Acessórios	Titanita 4%	4%	-		Zircão, Sericita

4.2 Análise Granulométrica

Os resultados obtidos nas análises granulométricas preliminar e de confirmação encontram-se nas Tabela 3, sendo respectivamente ensaios preliminares 1 e ensaios de confirmação 2. Os resultados

preliminares mostram que foi gerada grande quantidade de finos (<4,75mm) na britagem, com valores entre 16,62% a 32,08%. Os resultados encontrados nos ensaios de confirmação seguem a mesma tendência que os apresentados nos resultados preliminares, porem apresentando ligeira variação (18,49% a 32,6%).

Os valores obtidos indicam que nenhum dos materiais enquadra-se nos limites aceitáveis para agregado graúdo no intervalo de 4,75 a 9,5 mm, indicando que novas configurações dos equipamentos da planta de beneficiamento devem ser testadas.

Tabela 3: Porcentagem de passante acumulado

Abertura (mm)	Cinza Andorinhas (%)		Amarelo Santa Cecília (%)		Indigo (%)		Marrom Absoluto (%)		Branco Itaúnas (%)	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	25,00	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	97,894	100,000	100,000	100,000
19,00	95,284	94,969	97,549	96,250	96,908	92,454	88,839	89,976	95,431	93,430
16,00	86,702	85,058	86,435	85,433	86,869	81,414	70,628	72,578	85,098	77,434
12,50	67,578	61,824	63,994	64,364	66,048	53,030	50,849	53,725	62,307	45,205
9,50	51,874	48,967	46,236	48,750	47,268	41,168	37,509	44,990	45,853	32,326
6,30	38,948	37,650	31,147	36,107	32,805	28,298	24,468	33,915	32,973	20,511
4,75	32,600	32,080	25,038	30,463	26,915	23,000	18,485	28,491	27,630	16,625
FUNDO	0,045	0,883	0,030	0,669	0,019	0,573	0,116	0,694	0,022	0,348

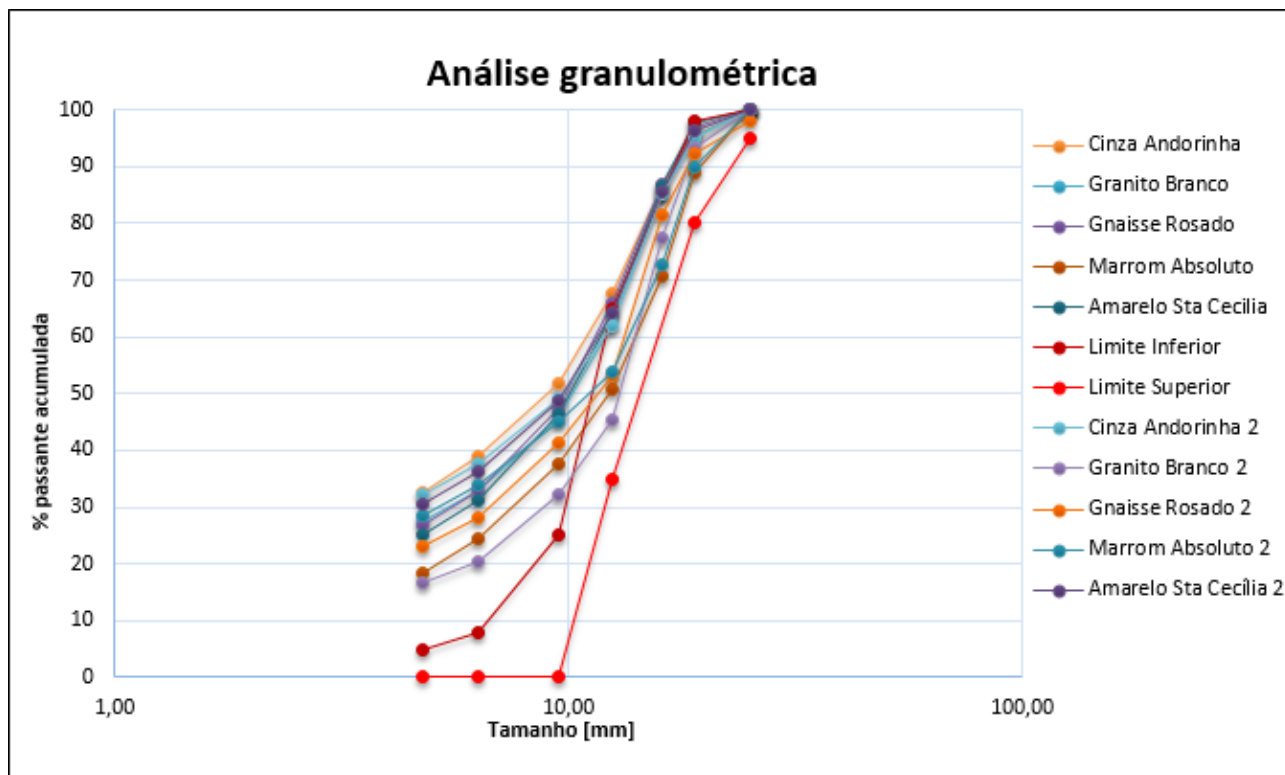


Figura 1: Análise granulométrica das amostras

4.3 Massa específica

A densidade das amostras resultou dentro do esperado em ambos os ensaios, superior à mínima aceitável para granitos, de 2,58, conforme Frazão e Frascá (2002) apud Campos (2007).

4.4 Abrasão Los Angeles

Como pode ser observado na Tabela 1, quase todas as amostras apresentaram perdas de massa superiores a 50% no ensaio de abrasão Los Angeles, limite considerado máximo de acordo à NBR 7211. De acordo com Frazão e Frascá (op. cit.) valores comuns em agregados naturais são em torno de 40% para granitos. O Marrom Absoluto, de características petrográficas semelhantes às dos basaltos, foi o único que atendeu essa especificação em ambos os ensaios (18,77% para brita 1 e 26,78% para brita 0). Já o Cinza Andorinha, comumente utilizado como agregado para concreto, apresentou baixa resistência à abrasão, assim como o Branco Itaúnas, que mesmo possuindo elevada quantidade de quartzo e feldspato inalterados na matriz, não apresentou resposta positiva neste ensaio.

4.5 Ensaio Treton

Frazão e Frascá (op. cit.) também definem os valores aceitáveis para o ensaio de impacto Treton. Inesperadamente, o Cinza Andorinha e o Branco Itaúnas, apresentaram perda superior aos 30%, não se enquadrando nos requisitos mínimos para utilização como agregado. O Amarelo Santa Cecília, mesmo estando alterado, encontra-se próximo ao limite aceitável para uso. O Marrom Absoluto apresentou comportamento semelhante ao do basalto, tendo perda inferior a 10%.

4.6 Ensaio de absorção

Os resultados preliminares obtidos indicam um intervalo de absorção de água entre 1,51 a 2,19%, valores altos para esses tipos de materiais, porém, resultados de confirmação indicaram valores entre 0,98% e 1,79%. Os resultados de ambos os ensaios estão dentro do limite da aceitabilidade, de acordo à NBR 7211.

5. CONCLUSÕES

Considerando os resultados obtidos neste estudo, o aproveitamento dos resíduos como agregados para concreto não seria recomendável, pois os produtos aqui caracterizados apresentaram indesejável resistência e durabilidade. Sabe-se que, em diversas regiões do país, os agregados utilizados não atendem às especificações mais rígidas, mas considerando a necessidade de uso de agregados locais, devido aos custos de transporte, para diversos usos, esses agregados são aceitos pelo mercado. No entanto, podemos considerar que os resultados podem ter apresentado valores alterados em virtude da pouca experiência do

laboratório em ensaios de caracterização de agregados. O laboratório passa por um processo de acreditação do INMETRO para os ensaios de caracterização de rochas ornamentais e alguns dos equipamentos utilizados em ambos os ensaios foram recalibrados no intervalo entre primeiros ensaios e os ensaios de confirmação.

Outro fator a ser considerado é a possibilidade de que o processo de britagem tenha influenciado nos resultados aqui obtidos, já que a usina de britagem da associação está recém-instalada e se encontra em fase de regulação e, ainda, o processo de extração dos blocos nas pedreiras e sua posterior serragem em teares pode ter afetado à qualidade desses materiais. Em virtude de existir amostras de outros tipos litológicos recomenda-se, portanto, a realização de novos ensaios, com a finalidade de verificar a aplicabilidade dos mesmos para uso em concreto. Em caso de resultado negativo proceder novos ensaios com os mesmos materiais, antes e após a serragem e com o uso de britadores regulados para verificar se a alteração dos resultados foi em virtude do laboratório em adequação ou da planta de beneficiamento não calibrada.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CETEM e à Associação gestora do aterro pelo apoio ao disponibilizarem sua infraestrutura para a elaboração deste trabalho. Agradeço também a orientação de Nuria Fernández Castro e a meu coorientador, Hieres Vettorazzi da Silva, por todo apoio, dicas e esforço. Por fim, agradeço ao CNPq pela bolsa concedida.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, Carlos Rubens Araujo, INSTITUTO EUVALDO LODI. **Manual de caracterização, aplicação, uso e manutenção das principais rochas comerciais no Espírito Santo: rochas ornamentais /** Instituto Euvaldo Lodi – Regional do Espírito Santo. Cachoeiro de Itapemirim/ES: IEL, 2013. 242p

ANEPAC. **Agregados**. Disponível em: <<http://anepac.org.br/wp/agregados/>>. Acessado em: 16 fevereiro 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (2001). NBR NM 27. **Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios**. Rio de Janeiro. 7p

_____ (2004). NBR 10007. **Amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro. 21p

_____ (2009). NBR 7211. **Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro. 9p

_____ (2009). NBR NM 53. **Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro. 8p

_____. NBR 7809. **Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio**. Rio de Janeiro. 3p

_____ (2001). NBR NM 51. **Agregado graúdo – Ensaio e abrasão “Los Ángeles”**. Rio de Janeiro. 6p

_____ NBR NM 248. **Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro. 6p

CAMPOS, E.E; FRAZÃO, E.B; CALAES, G.D; HERRMANN, H. Org.: Tannús, M.B.; Carmo, J.C.C; **Agregados para a construção civil no Brasil: contribuições para formulação de políticas públicas**. – Belo Horizonte: CETEC, 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER (1999). ME 399/99. **Agregados – Determinação da perda ao choque no aparelho Treton**. Rio de Janeiro. 5p.

_____ (1995). ME 084/95. **Agregado miúdo – Determinação da densidade real**. Rio de Janeiro. 3p.

IBRAM. **Informações e análises da economia mineral brasileira**. 7. Ed. Brasília, DF, 2012. 68 p.

KULAIIF, Y.; Brita e Cascalho. In: **Sumário Mineral**, Brasília: DNPM, 2014.

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL COMO DESAFIO NA EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Débora Ezequiel Cavalcanti¹, *Ranieri de Araújo Pereira*², *José de Araújo Nogueira Neto*³,
*Adler Pereira Soares*⁴

¹ Mestranda em Geologia - Geodinâmica e Recursos Minerais, Universidade Federal do Ceará

² Mestrando em Uso Sustentável de Recursos Naturais, Instituto Federal do Rio Grande do Norte

³ Professor Doutor em Geologia, Universidade Federal do Ceará

⁴ Graduando em Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte

debyezc@gmail.com

RESUMO

A indústria de rochas ornamentais no Brasil é bastante promissora. O Brasil é o terceiro maior produtor de rochas ornamentais do mundo, sendo, hoje, o principal fornecedor de rochas para o mercado norte-americano, respondendo por 30% do volume importado pelos EUA. O Estado do Espírito Santo responde por 50% da produção nacional de rochas ornamentais e por mais de 70% das exportações brasileiras. O Brasil vem avançando em estratégias focadas na venda de produtos beneficiados, cujo valor de comercialização chega a ser dez vezes maior que o das rochas brutas. As atividades de extração e beneficiamento de rochas ornamentais promovem um grande crescimento econômico no país, no entanto, acarretam conseqüências ambientais como a grande quantidade de resíduos sólidos gerados. Objetivando a mitigação do impacto e a otimização de soluções visando o desenvolvimento sustentável, tem-se como uma boa alternativa, a reciclagem dos resíduos sólidos gerados e sua utilização na construção civil. Este trabalho apresenta um estudo preliminar acerca da reciclagem do resíduo do corte de rochas ornamentais, cuja metodologia adotada obedece as seguintes etapas: levantamentos (bibliográfico e documental); estabelecimento de padrões para a análise em campo; análise *in loco* de duas beneficiadoras; análise dos dados obtidos; e avaliação dos resultados. A partir de dados obtidos em pesquisas, pôde-se verificar que o valor apontado sobre o volume de resíduo gerado no corte dos blocos de granito de 30% coincide com os valores encontrados nas empresas beneficiadoras. Destaca-se que o valor encontrado de 30% é alto, representando a necessidade de ocupação de

uma grande área para disposição final se o resíduo não for aproveitado na reciclagem. Assim, a reciclagem é uma alternativa em potencial da mitigação dos riscos ambientais, além de redução das despesas de deposição. O reaproveitamento do resíduo diminui o consumo de recursos naturais na fabricação de produtos e elimina a necessidade de armazenar grandes quantidades de resíduos em aterros industriais.

PALAVRAS-CHAVE: rochas ornamentais, sustentabilidade, resíduos.

ABSTRACT

The industry of ornamental rocks in Brazil is quite promising. Brazil is the third largest producer of ornamental rocks in the world, is today the leading supplier of rocks for the US market, accounting for 30% of the volume imported by the US. The Espírito Santo State accounts for 50% of national production of ornamental and for more than 70% of Brazilian exports. Brazil is advancing in strategies focused on the selling of processed products, whose market value is up to ten times greater than gross rocks. The extraction activities and ornamental rocks processing promote a major economic growth in the country, however, result in environmental consequences as the large amount of solid waste generated. Aimed to mitigate the impact and optimize solutions for sustainable development, there is a good alternative, the recycling of waste and its use in the construction industry. This paper presents a preliminary study on the recycling of waste generated by the processing of ornamental rocks, whose methodology come after the following steps: surveys (bibliographic and documentary); setting standards for the field analysis; *in loco* analysis of two processing plants; analysis of the obtained data; and evaluation of results. From data obtained in the research, it was observed that the amount of 30% indicated on the volume of waste generated in the cut of granite blocks coincides with the values found in the processing plants. It is important to note that the value of 30% is high, requiring a large area for final disposal if the waste is not used in recycling. Thus, recycling is a potential alternative in the mitigation of environmental impacts, and also reducing waste deposition costs. Thus, the residue reuse decreases the consumption of natural resources in the industrial output as well as eliminates the need to store large quantities of waste in industrial landfills.

KEYWORDS: ornamental rocks, sustainability, waste.

1. INTRODUÇÃO

A eliminação de resíduos industriais derivados das atividades mineradoras têm sido um dos grandes desafios do séc. XXI, não sendo diferente no setor de rochas ornamentais, onde impactos ambientais negativos estão presentes em toda a fase do processo de produção, desde a extração e beneficiamento, até a disposição final após seu uso.

Pesquisas vêm sendo desenvolvidas sobre esse tema em todo mundo, motivadas em geral pelo esgotamento das matérias-primas não renováveis, redução do consumo de energia, menores emissões de poluentes, redução de custos, melhoria da saúde e segurança do trabalhador e da população em geral.

Segundo Chiodi Filho (2006), uma das questões mais importantes para o desenvolvimento sustentável do setor de rochas ornamentais diz respeito à capacitação de centros de pesquisa para estudos de aproveitamento industrial de resíduos, caracterização tecnológica e diversificação de produtos comerciais, certificação de origem e aprimoramento de insumos.

Entre as diretrizes referenciais para possíveis desenvolvimentos e oportunidades do setor de rochas no Brasil, encontra-se a *adequação ambiental (tratamento e aproveitamento de resíduos gerados)*. Nesse sentido, um dos percursos a ser adotado na busca do desenvolvimento sustentável do setor de rochas ornamentais, passa pelo tratamento e aproveitamento dos resíduos sólidos gerados nos processos de extração e beneficiamento das rochas.

1.1 Objetivos

O objetivo do presente trabalho foi obter uma análise das questões ambientais ignoradas ou negligenciadas na exploração e no beneficiamento de rochas ornamentais. Tal procedimento teve o propósito de procurar soluções para minimizar os impactos causados e proporcionar uma produção mais limpa, além de propor o aproveitamento dos resíduos, sugerindo-se a reutilização dos mesmos em material a ser empregado na construção civil.

1.2 Metodologia

A metodologia adotada obedece as seguintes etapas:

- levantamentos (bibliográfico e documental);
- estabelecimento de padrões para a análise em campo;
- análise in loco de duas mineradoras e de duas beneficiadoras;
- análise dos dados obtidos;
- avaliação dos resultados.

2. O PROCESSO DE EXTRAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

A escolha da tecnologia de corte a ser empregada nas atividades de lavra dar-se-á de fatores tais como: tipo de rocha, suas características petrográficas e estruturais, valor do material no mercado, meio-ambiente, disponibilidade financeira da empresa, dentre outros (PINHEIRO, 1995).

Algumas pedreiras, principalmente as maiores, têm buscado implantar um sistema de produção que busque maiores recuperações e melhor qualidade do produto final com menores taxas de geração de resíduos. Já as empresas menores encontram dificuldades neste sentido devido ao alto custo de contratação de serviços de consultoria voltados para o estudo adequado da área, planejamento e aplicação de técnicas adequadas de lavra e beneficiamento.

O conhecimento dos métodos empregados na exploração de rochas ornamentais, bem como tecnologia de corte, são de extrema importância para o desenvolvimento do setor que precisa urgentemente reduzir as perdas na produção reduzindo, assim, o volume de rejeitos gerados e aumentando o valor agregado dos produtos.

3. O PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Na etapa do beneficiamento, o corte dos blocos pode ser feito por equipamentos chamados teares, sendo de dois tipos: de fios diamantados e de lâminas metálicas, sendo este último denominado de tear convencional e existente em maior número nas indústrias atualmente.

No corte do bloco, usa-se uma lama (polpa abrasiva) constituída de rocha moída e água para o tear de fios diamantados. Já no caso do tear convencional, esta lama é acrescida de cal e granalha de aço, que tem como principais finalidades: lubrificar e esfriar as lâminas de serragem; evitar a oxidação das mesmas; limpar os canais entre as chapas; e servir como abrasivo para facilitar o processo de corte.

A lama re-circula no tear por meio de uma bomba submersa de eixo vertical, situada num poço (reservatório) de recolhimento que fica sob o tear, onde a lama é bombeada para cima do bloco através de um sistema de chuveiros em movimentação. Durante a serragem, a lama retorna ao poço e fica mantida em circulação até o término da serrada. Ela deve ter sua viscosidade controlada durante o processo, para isso, é feito o acréscimo de seus componentes: água, granalha e cal. A parte da lama que se torna muito viscosa é descartada e torna-se o resíduo, que em geral, é depositado em lagoas de sedimentação diretamente no solo, nos pátios das empresas. Em algumas empresas, o resíduo passa por um equipamento chamado filtro prensa, que diminui o teor de umidade, podendo-se nesse caso, reaproveitar parte da água, ficando o resíduo também condicionado nos pátios.

Após a secagem do material na lagoa de decantação, o transporte e disposição do resíduo nos aterros industriais geram despesas consideráveis para as empresas.

4. RESULTADOS

O desenvolvimento sustentável é definido como aquele que “permite atender às necessidades básicas de toda a população e garante a todos a oportunidade de satisfazer suas aspirações para uma vida melhor sem, no entanto, comprometer a habilidade das gerações futuras atenderem suas próprias necessidades” (CHEN e CHAMBERS, 1999 apud JOHN, 2000, p. 16).

O modelo proposto de desenvolvimento sustentável implica numa transformação do atual sistema econômico, considerando que a maioria dos sistemas de produção material, dominantes no mundo não são sustentáveis, principalmente nos aspectos legais, econômicos, sociais e ambientais, em relação ao modo de vida da sociedade contemporânea, centrado na estrutura de produção e consumo. A indústria de exploração de rochas ornamentais está inserida nesta problemática e a sustentabilidade do setor envolve, entre outras alternativas, a busca pela reciclagem do resíduo gerado.

Assim, a reciclagem é uma oportunidade de transformação de uma fonte importante de despesa em faturamento ou, pelo menos, de redução das despesas de deposição, além da mitigação dos riscos ambientais. O reaproveitamento do resíduo diminui o consumo de recursos naturais na fabricação de produtos e elimina a necessidade de armazenar grandes quantidades de resíduos em aterros industriais.

No processo de reciclagem deve-se levar em consideração a caracterização física, química e ambiental do resíduo para que os novos produtos tenham bom desempenho e uma maior aceitação dos consumidores, para assim, contribuir efetivamente para o desenvolvimento sustentável dos setores.

4.1 Redução dos Resíduos no Processo de Extração

A produção de resíduos na indústria de rochas ornamentais é proporcional à quantidade de rochas beneficiadas que, por sua vez, obedece a demanda dos mercados interno e externo.

Nota-se que para haver uma redução dos resíduos, obviamente teria que haver uma diminuição da produção. No entanto, o que se busca cada vez mais são formas de aumentar a produção para atender a demanda do mercado, o que nos leva concluir que não é viável exigir essa postura das empresas, mas podemos cobrar que sejam feitos investimentos em novas tecnologias que minimizem os impactos ambientais e a produção de resíduos.

Grande parte das jazidas em atividade deposita seu material inútil (rejeitos que possuem diferentes tamanhos) em áreas diversas sem controle algum. Estes locais de depósito de rejeitos são conhecidas como “bota-fora”. Os resíduos possuindo dimensões variadas são acondicionados sem controle formando verdadeiras montanhas de restos de rochas. Uma das soluções para este problema seria a diminuição destes rejeitos através do uso de tecnologia limpa.

Existem duas tecnologias que são mais usadas atualmente no Brasil, a tradicional, mais poluente, conhecida como a tecnologia de fio helicoidal e a outra menos poluente, que chamaremos de tecnologia limpa, conhecida como tecnologia de fio diamantado ou de corte contínuo, pois para obtenção dos blocos nas jazidas a fase de cortes não são interrompidos até que se atinja o ponto de alcance final de equipamento em determinado local da rocha (MATTA, 2003).

No Brasil a tecnologia mais limpa tem início a partir da abertura econômica ocorrido no início dos anos 90 (CETEM, 2006).

De maneira simplificada, descreve-se a tecnologia do fio helicoidal como sendo composta de três fios de aço trançados em forma de helicóide, sendo estes puxados por um motor e correndo por roldanas. É também usado uma lama abrasiva para a operação de corte, composta por 70% de água e 30% de areia quartzosa. Ela serve tanto para cortar a rocha, como para resfriar os fios. Esta tecnologia tem uma velocidade relativamente baixa, variando de 1 a 2 m²/ hora, sendo necessário

no início do corte aproximadamente 960 litros de água/m² (CHIODI FILHO, 1995 apud MATTA, 2003).

A tecnologia de fio diamantado também é tracionado por um motor com roldanas, entretanto sua velocidade de corte varia 3 a 5 m²/ hora para os granitos, sendo consumido nesse processo em média 500 litros de água/m² (MATTA, 2003). O processo de corte acontece pela ação abrasiva dos anéis ou pérolas com grãos de diamante, dispostos ao longo do fio, sendo que estes tencionam sobre o bloco rochoso, acontecendo o corte pelo fio tencionado em alta velocidade de translação que vai girando em contato com o bloco e cortando-o com uma precisão considerável (ALENCAR, et all., 1996 apud COIMBRA FILHO, 2006).

Na tabela 1 são apresentadas informações relativas à comparação técnico-econômica das duas tecnologias apresentadas.

Tabela 1: Comparação Técnica – Econômica das duas tecnologias para a lavra de rocha ornamental. Fonte: Bortolussi et all, 1988 apud Cetem, 2003, adaptado pelo autor.

Modalidade Operacional e Prestação	Parâmetros Técnicos	
	Fio Diamantado	Fio Helicoidal
Velocidade de Corte (m ² /h)	3 a 4	1 a 2
Largura do Corte (mm)	11 a 12	80 a 100
Rugosidade (cm)	2 a 4	4 a 6
Espessura da Zona de Desperdício (cm)	-	10 a 20

Percebem-se na tabela 1 vantagens do fio diamantado em relação ao helicoidal. No primeiro caso a velocidade de corte é maior variando de 3 a 4 m²/h enquanto que o fio helicoidal esta medida vai de 1 a 2 m²/h isto porque a largura de corte no primeiro caso é menor (11 a 12 mm) que no segundo (80 a 100 mm) dessa forma ocorre um corte com maior precisão, levando a uma rugosidade menor para o fio diamantado (2 a 4 cm) em relação ao helicoidal (4 a 6 cm) evitando deste modo desperdício de matéria-prima e conseqüente diminuição da poluição, visto que o que se perde de matéria-prima termina por ser lançado no meio ambiente sem controle algum.

Além destas vantagens é importante destacar que a tecnologia do fio diamantado se comparado com a do fio helicoidal, modelo tradicional usado no país, necessita, para sua implantação, de menos obras de fundação; o investimento de base é quatro vezes menor; e a área utilizada para instalação do equipamento de corte pode chegar a um quarto em relação ao modelo tradicional.

Segundo Matta (2003), a lama produzida no processo de extração gerada pelo processo tradicional, gera destruição do solo agrícola e florestal, alteração nas condições de drenagem do solo, poluição do ar, modificação e destruição da paisagem natural causando impacto visual.

Pode-se concluir que a tecnologia de corte com fio diamantado possui um processo de corte mais rápido, produtos com qualidade superior (pois diminui os danos no material) e seus cortes são mais precisos, sendo também importante mencionar que este diminui consideravelmente os desperdícios de material gerando desta forma menos danos ao meio ambiente pelo fato de uma diminuição importante na geração de resíduos causados pela atividade em questão.

4.2 Redução dos Resíduos no Processo de Beneficiamento

Segundo NUNES et al. (2002), nos últimos anos, as indústrias de beneficiamento de rochas ornamentais vêm sendo citadas pelos ambientalistas como fontes de contaminação e/ou poluição do meio ambiente, devido ao grande volume de resíduos gerados e freqüentemente lançados diretamente nos ecossistemas, sem um processo de tratamento para eliminar ou reduzir os constituintes presentes.

A eliminação ou o reaproveitamento dos resíduos industriais gerados por empresas de beneficiamento é um dos grandes desafios para mitigar os impactos ambientais, o que leva pesquisadores ligados ao setor a estudarem o uso deste resíduo em aplicações, principalmente na indústria da construção civil.

De acordo com Freire e Motta (1995), no sistema de desdobramento do bloco de rocha em chapas através de teares, de 20 a 25% do mesmo é transformado em pó e segundo Gonçalves (2000), no mesmo processo, cerca de 25 a 30% do volume do bloco é transformado em resíduo de serragem.

Tabela 2: Características das Empresas visitadas.

CARACTERÍSTICAS	EMPRESA "A"	EMPRESA "B"
Tipo de Tear	Fios Diamantados	Lâminas Metálicas
Tempo de Corte/bloco (h)	8 a 10	60
Produção Mensal (m ³)	500	150
Resíduo Mensal (m ³)	150	50
Relação Resíduo X Produção (%)	30	33
Tratamento do Resíduo	Decantação/Filtros	Nenhum

Armazenamento na Empresa	No próprio solo	No próprio solo
Período de Armazenamento no Pátio	Mensal	Trimestral
Aproveitamento do Resíduo (%)	90	0
Destinação do Resíduo	Fabricação de Britas	Aterro Industrial

A empresa "A": possui dois teares com fios diamantados, que substituíram os teares convencionais existentes há cerca de 5 anos. O resíduo gerado é encaminhado através de canaletas sob o piso até o silo de decantação e ao filtro prensa que serve para diminuir o grau de umidade do resíduo. O mesmo é transportado até o local de deposição e de lá segue para reciclagem em indústria de fabricação de britas. A empresa considera que 30% do volume do bloco de rocha se transforma em resíduo, sendo que 90% dele é reciclado. Os 10% restantes do resíduo gerado ficam depositados no solo em camadas na forma de aterro.

A empresa "B": possui dois teares com lâminas metálicas. Sua produção é a serragem de 8 blocos de rocha ao mês. A empresa estima que um terço do volume do bloco de rocha se transforma em resíduo. Na empresa não existe silo de decantação e nem filtro prensa para diminuição de umidade do resíduo, que é depositado diretamente no solo no pátio da empresa e fica ali durante cerca de 3 meses, sendo então feito o descarte, que é transportado para o aterro industrial. A empresa está construindo tanques de decantação em concreto armado e está em contato com uma indústria de ladrilhos cerâmicos para viabilizar o reaproveitamento do resíduo na fabricação de produtos cerâmicos.

5. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que a reciclagem do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais contribui para a diminuição do impacto ambiental causado pelo setor e faz diminuir a necessidade de áreas destinadas a grandes aterros industriais, podendo o resíduo entrar na confecção de produtos substituindo matérias-primas que podem ser, muitas vezes, não renováveis. Dessa forma, considerando ser a indústria de beneficiamento de rochas ornamentais geradora de um produto de grande importância no contexto econômico, social e ambiental do Brasil e do mundo, percebe-se a urgência na adoção de programas e políticas de incentivo à prática da reciclagem. É urgente a necessidade de tornar realidade os importantes resultados oriundos do esforço científico, que encontram-se disponíveis nas bibliotecas acadêmicas das universidades e institutos

de pesquisa, e que indicam várias possibilidades de uso e reciclagem desses resíduos. Dessa forma, a indústria de rochas ornamentais poderá almejar a continuidade de seu crescimento baseado nos conceitos de sustentabilidade e inserido num ciclo ecológico econômico coerente com os novos tempos.

As aplicações industriais para os resíduos de rochas ornamentais vão depender muito das características da rocha que originou o resíduo, porém podem ser citadas, de uma forma geral, algumas das aplicações industriais mais comuns: argamassas, cerâmicas, britas, vidros, bloquetes, corretivos de solos, mosaicos, cimento, artesanatos, muros de contenção de taludes, pavimentação, etc.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CABELLO, Mário L R. **Métodos de Lavra Aplicados à Extração de Rochas Ornamentais**. 2012. Instituto Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2012

CAMPOS, Antônio Rodrigues; CASTRO, Núria Fernández; VIDAL, Francisco W. Hollanda; BORLINI, Mônica Castoldi. **Tratamento e Aproveitamento de Resíduos de Rochas Ornamentais e de Revestimento, Visando Mitigação de Impacto Ambiental**. Centro de Tecnologia Mineral-CETEM.

CAVALCANTI, Débora Ezequiel. **Estudo de Viabilidade Ambiental-EVA**. 2014. GRUPO IMARF. Fortaleza, 2014.

REIS, Alessandra Savazzini; ALVAREZ, Cristina Engel. **A Sustentabilidade e o Resíduo Gerado no Beneficiamento de Rochas Ornamentais**. 2007. Artigo (Encontro Nacional de Edificações e Comunidades Sustentáveis). 2007.

SOUSA, José Gonçalves. **Análise Ambiental do Processo de Extração e Beneficiamento de Rochas Ornamentais com Vistas a uma Produção mais Limpa: Aplicação em Cachoeiro de Itapemirim-ES**. 2007. (Curso de Especialização em Análise Ambiental). Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2007.

GRANITO AZUL SUCURU: ESTUDO DA VIABILIDADE AMBIENTAL ATRAVÉS DA CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO MATERIAL

Lúcio F. M. Cavalcanti¹, Felisbela M. C. Oliveira², Evenildo B. Melo³, Amanda C. Fernandes⁴

¹ Estudante, Universidade Federal de Pernambuco

² Professor, Universidade Federal de Pernambuco

³ Professor, Universidade Federal de Pernambuco

⁴ Estudante, Universidade Federal de Pernambuco

¹flaviomat2004@hotmail.com

RESUMO

A preocupação ambiental tem se tornado comum nas empresas de mineração que buscam conciliar o desenvolvimento frente às questões de sustentabilidade. Diante disso, busca-se neste breve estudo apresentar possibilidades de um melhor aproveitamento dos rejeitos do Granito Sucuru, cuja jazida encontra-se desativada, a qual se situa na região do Cariri Paraibano, no município de Sumé, PB. A proposta de estudo teve como objetivo o desenvolvimento da cadeia produtiva da região analisada e preservação do ambiente, buscando ao longo desse estudo mitigar os efeitos dos impactos ambientais gerados e a necessidade de dar uma destinação econômica aos rejeitos gerados pelas atividades da cadeia produtiva da região, objetivando criar uma área de deposição comum para os estoques remanescentes do rejeito, dando a estes uma destinação econômica, gerando ocupação e renda a comunidade local, ao tempo em que atenua os impactos ambientais gerados pela exploração do granito Azul Sucuru na região de Sumé, PB. Assim, a pesquisa do campo ambiental e da mineralogia das rochas industriais abrangeu a observação direta da área analisada, a pesquisa bibliográfica voltada aos estudos ambientais e a sua possível interface com os estudos das aplicações de rochas industriais para a construção civil, os ensaios laboratoriais, que analisaram os índices físicos, a análise granulométrica da rocha, investigações de microscopia em seções delgadas e também em grãos, complementados por análises de difratometria de raios X. Portanto, com esse estudo é possível se analisar uma melhor viabilidade econômica e ambiental da área compreendida pelo Granito Sucuru, na qual os rejeitos possam ser aproveitados sob a forma de brita e argamassa para a indústria, além de poder ser usado na forma de rocha ornamental e de revestimento sendo aplicada em revestimentos internos e/ou externos,

seja em áreas secas e/ou úmidas e também em pisos de grande intensidade de pisoteio. Ainda, os rejeitos do “Azul Sucuru” podem ter aproveitamento sob a forma de brita para construção civil, apesar de apresentar 27% de britas de forma alongada. Isto não seria empecilho para uso na confecção de concretos desde que cuidados devam ser tomados quanto à forma e dimensão do grão para evitar que as mesmas fiquem presas entre as barras de aço que compõem a armadura e dificultem o adensamento do concreto, podendo causar problemas como segregação da mistura e vazios nas fôrmas.

PALAVRAS-CHAVE: Desenvolvimento, meio ambiente, Granito Sucuru, britas.

ABSTRACT

Environmental concern has become commonplace in the mining companies seeking to reconcile the forward development to sustainability issues. Therefore, we seek to present this brief study possibilities for a better use of the Granite Sucuru tailings, whose field is disabled, which is located in the Paraíba Cariri, in the municipality of Sumé, PB. The study proposal was aimed at the development of the productive chain of the analyzed region and preserving the environment, looking over this study mitigate the effects of the generated environmental impacts and the need to give an economic allocation of the waste generated by the activities of the production chain in the region , aiming to create a common deposition area for the remaining stocks of the waste, giving them an economic allocation, generating jobs and income to the local community, the time that mitigates the environmental impacts generated by the exploitation of granite Blue Sucuru in Sumé region PB. Thus, research in the environmental field and mineralogy of industrial rocks covered the direct observation of the analyzed area, the literature focused on environmental studies and their possible interface with the studies of applications of industrial rocks for construction, laboratory tests, who analyzed the physical levels, grain size analysis of rock, microscopy investigations into thin sections and also in grains, supplemented by diffraction analysis X-ray Therefore, with this study it is possible to analyze a better economic and environmental viability of the area understood by Sucuru granite, in which the wastes can be recovered in the form of crushed stone and mortar industry and can also be used as ornamental rock and coating being applied in internal and / or external cladding, either in dry areas and / or wet and also in intensive trampling floors. Also, the rejects of the "Blue Sucuru" may have use in the form of crushed rock for construction, despite having 27% of gravel elongated. This would be

no obstacle for use in the manufacture of concrete since care should be taken in form and grain size to prevent them from becoming trapped between the steel bars that make up the armor and hinder the consolidation of the concrete, which may cause problems such as segregation of the mixture and the empty molds.

KEYWORDS: development, environment, Sucuru Granite gravel.

1. INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade indispensável no atual modelo econômico da sociedade; é algo inerente à sobrevivência desse grupo social em constante mudança. Assim, a importância assumida pelos bens minerais se adequa a várias atividades humanas como habitação, construção, saneamento básico, transporte, agricultura, além de tecnologia de ponta em diferentes áreas do conhecimento.

Sendo considerado um dos setores básicos da economia do país, a mineração vem contribuindo de forma decisiva para o bem-estar e a melhoria da qualidade de vida de várias gerações, sendo fundamental para o desenvolvimento de uma sociedade equânime, desde que seja operada com responsabilidade social, estando sempre presentes os preceitos do desenvolvimento sustentável (FARIAS, 2002). Apesar da sua importância para a qualidade de vida da sociedade, o processo de mineração é ainda muito impactante ao meio ambiente, causando degradação visual da paisagem natural, que trás a tona transtornos gerados às populações do entorno dos projetos minerários e à saúde das pessoas diretamente envolvidas no empreendimento. Frente a essa realidade, conciliar sustentabilidade e atividades mineradoras é um desafio ao conceito de desenvolvimento sustentável, uma vez que a atividade minerária retira da natureza recursos naturais exauríveis.

O bom gestor ambiental precisa conciliar os pontos negativos de suas atividades e a sustentabilidade como forma de garantir o desenvolvimento que resultem no processo de mitigação de impactos. Este trabalho versa sobre a exploração da rocha que produz o “Granito Azul Sucuru” no município de Serra Branca, PB. Este litotipo, por conta de sua beleza, fruto de sua textura e cor azulada, é usado como rocha ornamental. Os problemas ocasionados pela exploração desta rocha devem-se às poucas pesquisas da mesma, ao alto valor para retirada do seu produto final apesar do mesmo ser de grande valor comercial, além de escassez em técnicas para o manejo e retirada do material, falta de tratamento adequado e manejo.

Alencar et al. (1996) destacam a necessidade de estudos de caracterização da jazida de rocha ornamental, através de levantamentos geológicos de detalhe e sondagens, obtendo informações que permitam prever, dentre outras coisas, as dimensões dos blocos exploráveis e as variações da qualidade do material. Segundo Ferreira (2004), nota-se que o enfoque dos autores a respeito de pesquisa, extração e qualidade de rochas ornamentais são sempre muito semelhantes e quase todos relacionam a importância de uma caracterização geológica bem feita, levando em consideração parâmetros ligados às características do maciço, como as variações litológicas, suas estruturas e condições geomecânicas. No caso do “Granito Azul Sucuru”, devem-se buscar novas formas de aproveitamento de rejeitos que não têm finalidade para a indústria de rochas ornamentais, mas que podem ser reutilizados seja como artesanato, seja como agregados graúdos (britas) e/ou agregados miúdos (areia), minimizando o impacto ambiental na área de exploração e viabilizando a ordem econômica.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SUSTENTABILIDADE

O desenvolvimento sustentável é definido como aquele que “permite atender às necessidades básicas de toda a população e garante a todos a oportunidade de satisfazer suas aspirações para uma vida melhor sem, no entanto, comprometer a habilidade das gerações futuras atenderem suas próprias necessidades” (CHEN e CHAMBERS, 1999 apud JOHN, 2000, p. 16). Assim, no caso particular do “Granito Azul Sucuru”, tem-se a ideia de manter nas áreas exploradas um aspecto positivo, ou seja, uma aproximação entre o desenvolvimento econômico, a preservação do meio ambiente, uma igualdade social, a qualidade de vida da comunidade local e o uso racional dos recursos oriundos nas pedreiras.

2.2. ROCHAS ORNAMENTAIS

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define rocha ornamental como uma substância rochosa natural que, submetida a diferentes graus de modelamento ou beneficiamento, pode ser utilizada como uma função estética qualquer. Rocha de revestimento, por sua vez, é qualificada pelo órgão como material rochoso passível de desdobramentos e beneficiamentos diversos com

emprego em acabamentos de superfícies de paredes e pisos em construções civis. A American Society for Testing and Materials (ASTM), órgão normatizador americano, define dimension stone (pedra ornamental) como qualquer material rochoso natural serrado, cortado em chapas e fatiado em placas, com ou sem acabamento mecânico, excluindo produtos acabados baseados em agregados artificialmente constituídos, compostos de fragmentos e pedras moídas e quebradas. Frascá (2002), com base nos conceitos da ABNT (1995) e ASTM (2003), entende-se rocha para revestimento como “um produto de desmonte de materiais rochosos e de seu subsequente desdobramento em chapas, posteriormente polidas e cortadas em placas”. Costa et al. (2002) conceitua rocha ornamental e de revestimento como tipos litológicos extraídos em blocos ou chapas, que podem ser cortados em formas diversas e beneficiados através de esquadrejamento, polimento e lustro. Para Mattos (2002), uma rocha para ser considerada ornamental deve apresentar como requisitos básicos beleza estética, ou seja, homogeneidade textural e estrutural, e possuir características tecnológicas dentro de padrões aceitáveis pelas normas técnicas.

2.3. LOCALIZAÇÃO DA JAZIDA DO “GRANITO AZUL SUCURU”

A área do “Granito Azul Sucuru” situa-se no compartimento da Borborema, na porção centro sul do Estado da Paraíba, na localidade Sítio Riacho do Buraco, Município de Serra Branca – PB. Está localizada na Folha Sumé (Referência: SB.24-Z-D-V SUDENE - Ano 1986), na Escala 1:100.000. O acesso à área é feito a partir de Campina Grande, PB. O percurso totaliza 165 km, dos quais 150 km são percorridos por rodovias pavimentadas e o restante por estrada não pavimentada, que podem ser percorridas durante qualquer período do ano.

2.4. GEOLOGIA LOCAL E REGIONAL

Segundo o Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (CPRM, 1998), a região objeto deste projeto de lavra está posicionada no interior de uma unidade geotectônica, denominada de Terreno Alto Moxotó e, mais especificamente, por litologias do Complexo Sumé, constituídas por gnaisses, ortognaisses e migmatitos, calcários metamórficos, faixas de anfibolitos, ortognaisses e migmatitos e rochas plutônicas granulares, na forma de stocks, com pouca ou nenhuma expressão topográfica e rochas graníticas filonianas.

A área de ocorrência do “Granito Azul Sucuru” corresponde a um enxame de diques alongados com direção NNW e comprimento variando de 50 m a 700 m que cortam os metassedimentos aluminosos (biotita gnaisses com granada e sillimanita), com larguras médias variando de 15 a 20 metros, do Complexo Gnáissico-Aluminoso/Sertânia. Menos frequentemente cortam os gnaisses claros do Complexo Sumé, a NE de Sucuru (NAVARRO, 2006). Os diques são de quatro tipos (CPRM, 2000): 1) granitos porfiríticos (dgp) com fenocristais de microclínio e quartzo azul, imersos numa matriz cinza-escura, milonitizada, de granulação fina a média, correspondentes aos comercializados como “Azul Sucuru”; 2) microdiorito porfirítico (ddp) com fenocristais ovóides e arredondados de plagioclásio em matriz cinza afanítica, composto essencialmente por plagioclásio, ferromagnesianos, quartzo e pouco microclínio; 3) diques ácidos compostos essencialmente por quartzo, biotita e feldspatos; e 4) diques básicos com amígdalas, compostos por quartzo, feldspato e anfibólios (NAVARRO, 2006). Petrograficamente esta rocha apresenta uma textura porfirítica, de composição sienogranítica, constituída por feldspatos, variando de branco a róseo, quartzo azul, distribuídos em uma matriz composta de biotita e hornblenda. Estudos petrográficos situam o “Granito Azul Sucuru” no campo das rochas ácidas, contendo, em média, 40% de microclina, 30% de quartzo, 20% de oligoclásio, 5% de biotita e 5% divididos entre hornblenda, fluorita, minerais máficos e minerais acessórios (titanita, clorita, zircão, calcita e minerais opacos).



Figura 1 – Embasamento gnáissico, litologia encaixante do dique e matacões.

O “Azul Sucuru” é explorado em grandes matacões remanescentes dos diques cujo alinhamento facilita a exploração que é feita através do uso de massa expansiva e desmonte manual. Com volume da ordem de, aproximadamente, $8,0\text{m}^3$, a retirada de blocos dos matacões facilita o corte nos teares multi-lâminas.

3.0. METODOLOGIA

A metodologia consta de revisão bibliográfica acerca de granitos e suas aplicações, seja na construção civil ou no campo das rochas ornamentais. Também foram realizadas visitas de campo às áreas de extração de “Granito Azul Sucuru”, no município de Serra Branca, PB, o que promoveu uma análise dentro do contexto ambiental das atividades, visando identificação e avaliação dos impactos ambientais, a cada uma das etapas da atividade de extração. Para a determinação dos índices físicos (densidade, porosidade e absorção de água), nove corpos de prova oriundos de placa polida do “Granito Azul Sucuru” foram usados para a determinação dos índices físicos (densidade, porosidade e absorção de água), de acordo com a norma NBR/ABNT 15845, anexo B. Estes ensaios, e sua posterior análise, apontam a viabilidade ou não do aproveitamento deste granito como material ornamental. Também foi realizada britagem de rejeitos do “Granito Azul Sucuru”, obtidos na pedreira, em britador MAQBRT, foram selecionados aleatoriamente 100 fragmentos oriundos desta britagem. Em seguida, verificaram-se as dimensões destes pedaços de rocha, de acordo com a NBR 6954: comprimento, largura e espessura para verificação da possibilidade de aproveitamento desses rejeitos para a construção civil, sob a forma de brita em concretos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas pedreiras do “Azul Sucuru” existe uma enorme quantidade de rejeitos que degrada o ambiente natural. Assim, o aproveitamento sustentável desses rejeitos, seja na construção civil ou na forma de artesanato, pode contribuir para o desenvolvimento da comunidade local e da região e promove a retirada dos entulhos do meio ambiente minimizando o impacto sobre os córregos, vegetação e a paisagem natural.

Os índices físicos são definidos pela relação básica entre a massa e o volume das amostras através das propriedades de massa específica (densidade) seca e saturada, porosidade e absorção d’água. Os valores dos mesmos vão implicar na aprovação da rocha para sua utilização como material ornamental. Após ensaios, os índices físicos do “Granito Azul Sucuru” apresentaram os seguintes valores: (a) Densidade: 2660 kg/m³; (b) porosidade aparente: 0,26% e (c) absorção de água: 0,10%. De acordo com a NBR 15844 – Requisitos para granitos – este material atende as especificações

para uso como material de revestimento. Entretanto características intrínsecas do material como composição mineralógica e textura devem ser consideradas quando em aplicações em ambientes onde haja agentes agressivos como banheiros e balcões de cozinha, onde os processos de alterabilidade (hidrólise, oxidação, hidroxidação) são mais intensos.

De acordo com (FRAZÃO, 2002), existem diversos métodos para determinar as formas dos fragmentos. As mais comuns se baseiam na medição das dimensões dos fragmentos por meio de linhas imaginárias que definem comprimento largura e espessura. Com relação ao “Azul Sucuru”, o grau de cubicidade dos agregados foi definido em função das dimensões A (comprimento), B (largura) e C (espessura), de acordo com a classificação proposta pela NBR 6954 (ABNT, 1989), baseada na tabela 1, abaixo:

Tabela 1: Classificação dos tipos de Agregados.

Relação entre as dimensões		Classificação da forma
B/A	C/B	
>0,5	>0,5	Cúbica
< 0,5	>0,5	Alongada
> 0,5	< 0,5	Lamelar
< 0,5	< 0,5	Alongada-lamelar

Na figura 3, o gráfico de dispersão possui 100 amostras obtidas através do processo de amostragem simples e aleatória, tanto para os dados C/B como para os dados B/A, que permitem observar que a nuvem de pontos no gráfico acima tende a uma maior concentração acima de 0,5. Além disso, a divisão do gráfico em quatro quadrantes enfatiza que a maioria das britas encontra-se no quadrante onde B/A e C/B têm valores acima de 0,5. De acordo com a NBR 6954 (1989), as amostras de britas oriundas dos rejeitos do “Granito Sucuru”, foram classificadas conforme a frequência dos pontos distribuídos em todo o gráfico. No qual, no primeiro quadrante (C/B < 0,5 e B/A > 0,5) a quantidade de fragmentos corresponde a um percentual de 5%; no segundo quadrante (C/B < 0,5 e B/A < 0,5), equivalente a 4%; no terceiro quadrante (C/B > 0,5 e B/A < 0,5), as britas são 27% do total; e no quarto quadrante (C/B > 0,5 e B/A > 0,5) totaliza 64%, todos em sentido anti-horário. Assim, as britas oriundas do “Azul Sucuru” apresentam uma forte tendência à classificação do tipo cúbica. Este fato corrobora para reutilização dos rejeitos da rocha como brita:

a forma cúbica promove um menor índice de vazios no concreto. Também, alguns pesquisadores consideram que é indesejável a presença de mais de 15% de partículas lamelares ou alongadas em concretos. Isso se explica por que britas com partículas lamelares no concreto acumulam mais bolhas de ar e água sob elas, o que prejudica a durabilidade e reduz a resistência do concreto.

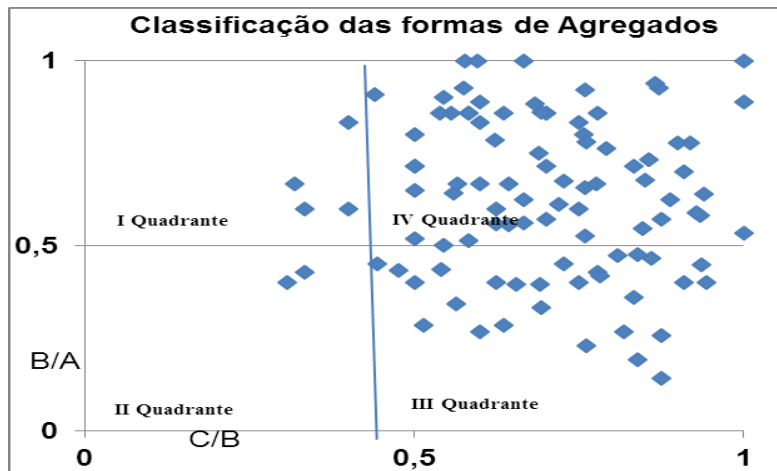


Figura 2: Classificação das formas de agregados, relação de C/B e B/A.

Segundo (YOSHIDA; FRAZÃO; GIROLDO, 1972), rochas com estruturas marcadamente estratificadas ou bandeadas ou xistosas tendem a produzir formas lamelares ou alongadas, tais como alguns quartzitos, arenitos estratificados e silicificados, gnaisses e xistos. As rochas de estrutura maciça, como os basaltos compactos tendem a apresentar frequência maior de fragmentos de forma cúbica; esta frequência diminui, contudo, com a diminuição do tamanho dos fragmentos, passando a predominar as formas lamelares e alongadas nas dimensões menores. O “Granito Azul Sucuru”, classificado como sienogranito, apresenta macroscopicamente cristais de quartzo, feldspatos, disseminados em uma matriz escura, portanto não apresentar orientação marcante e, como observado, não produz fragmentos de forma alongadas ou lamelares, com frequência significativa, no que diz respeito à fabricação de concreto.

5. CONCLUSÕES

Diante do cenário atual de escassez em relação às medidas sustentáveis para o “granito” do tipo Sucuru, o presente trabalho sugere um novo paradigma no aproveitamento da jazida da rocha industrial em questão, no que tange a ideia de utilização de recursos naturais aliados à mineração.

As problemáticas enfrentadas pela exploração da rocha produtora do “Granito Azul Sucuru” devem-se às poucas pesquisas da mesma. Seu produto final (placas polidas) é de grande interesse no campo das rochas de revestimento, entretanto para as indústrias de beneficiamento do material ornamental, a escassez em técnicas para o manejo e retirada dos recursos, além de tratamento adequado e utilização, se traduz como empecilhos para o desenvolvimento da exploração deste material. O desafio é propor um cenário inovador, modelo de gestão que concilie mitigação de impactos, aproveitamento de recursos e desenvolvimento econômico.

A utilização da rocha industrial extraída de rochas ígneas segue um novo modelo mercadológico promissor que é a ornamentação de interiores. Além disso, todo segmento de gestão permite uma expansão em estudos e análises em toda a área integrada, reabilitando-a com a retirada de matacões e rejeitos, desenvolvendo a economia local de artesãos e futuramente a extensão para outras regiões que se encontram com limitações em seus recursos naturais na utilização de artesanatos. É preciso destacar que a utilização da rocha industrial como brita para confecção de concretos conseguirá reduzir significativamente alguns impactos como o acúmulo de rejeitos. Consequentemente, possibilitará uma valorização da área, diminuição da poluição visual e aumento da cobertura vegetal. Assim entende-se que a gestão ambiental, dentro de um processo técnico só tem eficácia quando todos os agentes estão envolvidos, a contribuição precisa ser de todos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Sistemas de Gestão Ambiental – Especificação e diretrizes para uso**. Rio de Janeiro: ABNT. Out/1996. 14p. Disponível em: <http://www.qsp.com.br>. Acesso no dia 13 de Janeiro de 2014.

ASTM – American Society for Testing and Materials. C 615_99 **Standard Specification for Granite Dimension Stone**. Disponível em: www.astm.org. acesso em 10 de janeiro de 2015.

ALENCAR, C. R. A; CARANASSIOS, A; CARVALHO, D. **Tecnologia de lavra e beneficiamento de rochas ornamentais**. Fortaleza, Instituto Euvaldo Lodi, 1996, 225p.

COSTA, A.G.; CAMPELLO, M.S.; MACIEL, S.L.; Calixto, C.; BEZERRA, J.E. 2002. Rochas ornamentais e de revestimento: proposta de classificação com base na caracterização tecnológica. In: III Simpósio sobre Rochas Ornamentais do Nordeste, **Anais**, Recife, PE.

FARIAS, Carlos Eugênio Gomes. **Mineração e Meio Ambiente no Brasil**. Outubro de 2002. Disponível em: www.cgee.org.br/arquivos/estudo011_02.pdf. Acesso dia 14 de Julho de 2014.

FRASCÁ, M. H. B e FRAZÃO, E. B. (2002). **Proposta de especificação tecnológica para agregados graúdos**. Areia & Brita, no 19, p. 28-33.

FERREIRA, Samuel Nunes. Geologia estrutural aplicada às rochas ornamentais na Pedreira Knawa, Cláudio (MG). 2004. **Dissertação** (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2004.

JOHN, Vanderly M. Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 113f. **Tese** (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo. 2000.

NAVARRO, Fabiano Cabañas. Influência da petrografia sobre a anisotropia à tensão de compressão e dilatação térmica de rochas ornamentais. 2006. **Tese** (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2006.

MATTOS, I.C. 2002. Uso/adequação e aplicação de rochas ornamentais na construção civil – parte 1. In: III Simpósio sobre Rochas Ornamentais do Nordeste, **Anais**, Recife, PE.

YOSHIDA,R.; FRAZÃO, E.B.; GIROLDO, A. M.P. Estudos sobre a forma de agregados rochosos. In. 4 semana Paulista de Geologia Aplicada, 1972,São Paulo. **Anais** SPGA. São Paulo: APGA. P.285-332.

IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS PELA EXTRAÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS COM O MÉTODO DE BANCADAS ULTRA-ALTAS NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

Rafaela Colodette Santos¹, Gleicon Roberto de Sousa Maior²

¹ Estudante, Instituto Federal do Espírito Santo

² Professor, Instituto Federal do Espírito Santo

rafinhacolodette@hotmail.com

RESUMO

No Estado do Espírito Santo o maior estimulador da economia é a indústria de Rochas Ornamentais, sendo este considerado o maior produtor de granito no Brasil. Esta colocação atribui-se às novas tecnologias de extração utilizadas pelas empresas, principalmente com a inclusão do método de lavra por bancadas ultra-altas apresentando bancadas de altura superior a 60 metros, uma classificação nova, eficaz e rápida, que promove uma maior capacidade de produção deste bem mineral. As rochas ornamentais possuem uma variabilidade estética visual onde a sua comercialização e aplicação depende de variáveis movidas pelo mercado da construção civil. Então, devido a este fato a busca pelo padrão ideal de cor e de formato torna a lavra de rochas ornamentais cada vez mais seletiva e aumenta a quantidade de material estéril por novidade de mineração, desde a extração ao beneficiamento há degradação do meio ambiente, então, para que haja preservação as leis ambientais têm sido cada vez mais exigentes e os órgãos ambientais têm sido mais competentes. A produção de rochas ornamentais é potencialmente poluidora, os impactos ambientais são devidos principalmente às grandes quantidades de resíduos sólidos gerados no processo produtivo. Estima-se que esses resíduos variam de 15 a 80% da matéria prima. Há, em alguns casos, a perda da vegetação nativa através do desenvolvimento de lavra interferindo na descaracterização do terreno. Com a retirada da vegetação, diminui a infiltração, aumentando o escoamento superficial que tende a carrear sedimentos provocando assoreamento nas áreas e corpos d'água à jusante. A poluição gerada pela perfuração, detonação, tombamento das pranchas e transporte pode ocasionar além da poluição atmosférica, problemas respiratórios aos

trabalhadores. Além disso, a lavra de rochas ornamentais com bancadas ultra-altas gera extrema poluição visual que causam destruição da paisagem natural e as frentes de trabalho podem ser vistas a grandes distâncias. Assim, apresentaremos os impactos característicos da lavra de granito através de bancadas ultra-altas e as medidas mitigadoras que devem ser realizadas a fim de que essa metodologia possa se manter viável quanto à aplicação em outros locais, minimizando ou eliminando, assim, os danos ao meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: rochas ornamentais, granito, extração, bancadas ultra-altas, impactos ambientais.

ABSTRACT

In the State of the Holy Spirit the most stimulating of the economy is the Ornamental Stones industry, which is considered the biggest granite producer in Brazil. This statement is attributed to new extraction technologies used by companies, especially with the inclusion of mining method for ultra-high benches presenting height of countertops more than 60 meters, a new, effective and rapid classification, which promotes greater capacity production of mineral well. Ornamental rocks have a visual aesthetic variability where its commercialization and application depends on variables driven by the construction market. So due to est fact the search for the ideal standard color and format makes the mining of ornamental increasingly selective and increases the amount of waste material by new mining, from extraction to processing there is degradation of the environment, then so that there is environmental preservation laws have been increasingly demanding and environmental agencies have been more appropriate. The production of ornamental rocks is potentially polluting, environmental impacts are mainly due to large amounts of solid waste generated in the production process. It is estimated that these wastes vary from 15 to 80% of the feedstock. There, in some cases, loss of native vegetation by interfering with the development till the land adulteration. With the removal of vegetation, decreases infiltration, increased runoff tends to adduce sediments causing siltation in the areas and water bodies downstream. The pollution generated by drilling, blasting, tumbling planks and transport can lead apart from air pollution, respiratory problems for workers. In addition, the mining of ornamental rocks with ultra-high benches creates extreme visual pollution they cause destruction of the natural landscape and the work fronts can be seen from great distances. Thus, we present the characteristic impacts of mining

granite through ultra-high countertops and the mitigation measures that should be taken so that this methodology can remain viable on the application elsewhere, minimizing or eliminating thus the damage to environment.

KEYWORDS: ornamental rocks, granite, extraction, ultra-high benches, environmental impact.

1. INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais são classificadas, segundo a ABNT (Associação brasileira de Normas Técnicas) como, materiais naturais extraídos a partir de pedreiras sob forma de blocos e/ou em placas, cortados de forma variada e beneficiados por meio de esquadreamento, polimento, lustro, apicoamento ou flameamento. Estas rochas contemplam uma gama de utilização como na arquitetura (mesas, balcões, pias e arte funerária), e na construção civil (revestimento interno e externo, fachadas, pisos, soleiras, colunas e pilares). Comercialmente as rochas ornamentais são classificadas em dois grandes grupos: os granitos e os mármore (VIDAL et al, 2005).

O Brasil é caracterizado e conhecido por sua diversidade mineral, especialmente quando se trata de rochas ornamentais. O Estado do Espírito Santo é o responsável pela maior parte desta produção e é o mais importante exportador de rochas. Cerca de 70% das exportações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento, são de contribuição do Espírito Santo.

O Espírito Santo está progredindo em suas tecnologias envolvidas no processo de extração e beneficiamento de rochas ornamentais, principalmente na produção do granito. De acordo com (CAMPOS et al, 2005), isto favorece uma melhor velocidade de corte e o aumento da qualidade dos blocos e chapas de granito.

A exploração de rochas ornamentais, no início era realizada por meio de cunhas de madeiras introduzidas nas falhas naturais da rocha. Em seguida as cunhas eram molhadas para que através do seu dilatamento ocorresse a divisão da rocha (MAIOR, 2013). Hoje, muitas empresas ainda utilizam as cunhas. Porém, esta é uma operação que envolve muito tempo para execução do corte. Este tipo de operação envolve excessivo esforço físico dos trabalhadores, atraso na produção, baixa produtividade e comprometimento na qualidade da superfície cortada.

Uma tecnologia alternativa no desmonte de rochas ornamentais é o agente expansivo, ou argamassa expansiva. São realizados os furos alinhados e devidamente espaçados, a argamassa que é um pó de composição química definida é aplicada no interior dos furos e mistura uma quantidade exata de água que funciona através de uma reação química gerando uma pressão de expansão das

paredes, agindo como um esforço que irá promover a ruptura da rocha. A reação da argamassa expansiva leva de 8 à 12 horas, devido a este fato novos métodos foram criados para tornar o processo mais rápido (MAIOR, 2013). Surge então o uso dos explosivos, que é alinhado com a velocidade requerida no processo, porém a onda de choque gerada pela detonação causa fraturas excessivas para as rochas ornamentais.

Finalmente, o uso do fio diamantado tornou-se a tecnologia de corte mais utilizada. Este equipamento pode ser usado em todas as operações de uma mineração de rochas ornamentais, mas o seu destaque ainda está vinculado à extração primária dos blocos. O uso do fio diamantado apresenta alguns resultados positivos, como: aumento da produtividade, diminuição da intensidade de ruído e vibrações, além de diminuir na geração de resíduos finos.

O Espírito Santo tem se destacado como um dos maiores produtores de rochas ornamentais. O estado possui grande quantidade de lavras de norte a sul de seu território, com grande variedade de rochas. A lavra destes materiais rochosos pode ser realizada através de através de pedreiras em flancos de encosta, em fosse e em poço, todos os métodos dependem da topografia do maciço. De acordo com a literatura, o desmonte de rochas a partir de maciços rochosos mais usados é através de sistemas de bancadas (MENEZES & MELLO, 2005).

Como se sabe, o método conduzido através de bancadas, cuja altura pode variar de regular, com até 20,0 metros à alta, com altura ultrapassando os 60,0 metros (figura 1). A frente de lavra por bancadas baixas se dá quando possui bancadas horizontais baixas, sendo a altura da bancada correspondente à dimensão de um bloco comercializável (MENEZES & MELLO, 2005). Esse método favorece a maior estabilidade das frentes de lavra, possibilitando um controle minucioso e maior segurança no trabalho, pois evita ou reduz de forma considerável o risco de acidentes graves. Possui menor impacto visual, além de favorecer uma melhor recuperação ambiental. As lavras por bancadas baixas geralmente acontecem em terrenos com relevo mais suave e suas frentes de lavra são mais extensas, facilitando, assim, a movimentação de equipamentos e de blocos (FABRI et al, 2012).

O método de lavra por bancadas altas, comparado com o método de bancadas baixas, necessita de uma maior quantidade de mão de obra qualificada, além de grande quantidade de equipamentos e mais sofisticados, se tornando assim um método mais oneroso. Além disso, são de difícil recuperação ambiental (CAMPOS et al, 2005).



Figura 1 – Bancadas com mais de 60 metros de altura (Fonte: MINERAÇÃO GUIDONI, 2016).

Além disso, dentro do método de bancadas altas, existe um método novo conhecido como bancadas ultra-altas (BUA's). Este método é utilizado quando o corpo de minério apresenta uma geometria a qual não é possível utilizar nenhum dos outros métodos. A extração das rochas por este método é mais econômica, pois diminui a remoção de estéril e possui uma produtividade elevada se comparada com os métodos convencionais gerando maiores ganhos.

A extração de rochas ornamentais é uma atividade altamente impactante (FABRI et al, 2012). As extrações minerais alinhados à restauração ambiental, regeneração das áreas mineradas e utilização criteriosa dos recursos minerais extraídos são as alternativas mais viáveis para o crescimento econômico aliado à preservação do meio ambiente.

Um meio ambiente preservado oferece segurança ecológica para a humanidade, porém pode levar ao não crescimento econômico e tecnológico. Isto é, as explorações minerais são indispensáveis na contribuição para a melhoria de vida e para o conforto do ser humano, além de serem de grande importância para a economia do país. Todavia, é fundamental que as minerações realizem suas atividades com responsabilidade social e ambiental, sempre considerando os princípios do desenvolvimento sustentável (FABRI et al, 2012).

2. BANCADAS ULTRA-ALTAS

O método de lavra depende de diversos fatores, entre eles estão as características da distribuição espacial do material que envolve principalmente a geometria (forma, tamanho, profundidade) do corpo mineral. A formação do Cinturão Granulítico Atlântico, conhecido como formação Pão de Açúcar, são corpos minerais que possuem grande potencial para lavra, mas que através dos métodos comuns de extração não é possível iniciá-la, principalmente porque não

apresentam meios para abertura e desenvolvimento de vias de acessos por serem maciços bastante íngremes (MAIOR, 2013).

Inicialmente, eram realizadas tentativas de lavra no pé das formações tipo Pão de Açúcar. Como são corpos rochosos bem altos e íngremes, a região do pé concentra altos índices de tensão. Com este acúmulo de tensão, o material ao ser extraído apresenta planos de faturamento intenso, perdendo seu valor de mercado e tornando a lavra inviável.

A altura das bancadas ultra-altas são superiores a 20,0 metros. Pode ser observado que quanto mais íngreme se mostra o talude, menor é a remoção do material estéril, e menor é o custo de extração. Este método já vem sendo utilizado de forma similar em Carrara e Stazzema na Itália. Já no Brasil ainda é um método pouco conhecido. Mas existem algumas empresas no Norte/Noroeste do Espírito Santo que já realizam o uso desta metodologia de lavra aumentando assim, a produtividade do estado elevando-o a categoria de maior produtor nacional de rochas ornamentais.

Para dar início a lavra é preciso realizar, quando necessária, a operação de decapeamento do maciço rochoso. O decapeamento da rocha é realizado com a retirada do solo e vegetação nas porções onde a jazida se encontra encoberta.

A disposição adequada deste material é fundamental para organização das etapas de lavra, devendo esta ter um posicionamento criterioso de forma que fique armazenado seguramente em lugar que não prejudique o avanço da lavra e as atividades mineiras no futuro, nem traga risco de desmoronamento ou provoque danos ambientais.

Depois de retirar o material de decapeamento, é realizada a operação de perfuração que é a primeira etapa do desmonte de rocha. Esta operação é efetuada por sonda com furos verticais e horizontais através das perfuratrizes percussivas. O corte da rocha é realizado por fio diamantado para individualização das pranchas.

O fio diamantado é inserido nos furos e através de seu movimento circular, provocado pela rotação da polia tracionada da máquina de corte que é posicionada próximo à frente e sobre trilhos que servem de base para o equipamento para ajuste da tensão exercida sobre o fio, exerce desta forma o corte na rocha no plano anteriormente definido pelos furos. Esta etapa é a principal causadora dos ruídos nas frentes de lavra.

As bancadas possuem alturas superiores à 20,0 metros, por isso, é necessário o auxílio de explosivos em aberturas na base das pranchas para que um desequilíbrio na prancha seja gerado provocando assim a derrubada da mesma por ação de seu próprio peso. As pranchas caem sobre

uma "cama" previamente montada para amortecer o impacto da queda da prancha derrubada, minimizando a quantidade de fraturas induzidas pelo choque. A cama é normalmente construída com material terroso e fragmentos de rochas.

A preparação dos blocos é a próxima etapa, e consiste no recorte da prancha já tombada, que será subdividida em blocos de dimensões convencionadas pelo mercado consumidor, através de perfuratrizes pneumáticas.

Após a individualização dos blocos, estes serão movimentados para o pátio de estocagem, para que não fiquem na praça de manobras. Esta movimentação é feita por uma pá-carregadeira de pneus, tombando-se sequencialmente e cuidadosamente até o local para estocagem, permitindo não só uma boa vistoria para o comprador, mas também uma fácil movimentação para carregamento. Em seguida, os blocos são carregados e dispostos sobre as carretas para serem posteriormente destinados ao mercado consumidor.

3. IMPACTOS AMBIENTAIS

Assim como toda atividade de mineração, a lavra de rochas ornamentais é extremamente impactante. A lavra e todo o empreendimento mineiro possuem todos os tipos de licença exigidos pelos órgãos, porém os impactos são inevitáveis. Então, é de responsabilidade do empreendedor cumprir as leis, realizando todas as medidas cabíveis para minimizar os impactos. Alguns impactos ambientais bem como suas medidas mitigadoras serão mostrados a seguir:

3.1 Alteração da Qualidade do ar

Durante a atividade de lavra existem diversas fontes geradoras de particulados em suspensão (poeira). Esses materiais lançado no ar são provenientes das seguintes condições: perfuração das rochas com perfuratrizes; tombamento das pranchas; operação com carregadeira; carregamento e arrasto dos blocos na praça de manobras; tráfego de caminhões nas vias.

Esse material é de difícil controle, porém existem algumas medidas mitigadoras que reduzem e/ou minimizam os efeitos das poeiras em suspensão, como implantação de cortina vegetal com espécies de crescimento rápido, como o eucalipto, por exemplo. Pode ser feito também a remoção do material existente na praça de manobras, umedecimento da área de trabalho.

As perfuratrizes mais novas contam com um sistema de remoção do pó da rocha na perfuração, fazendo com que o efeito da poeira seja minimizado. A movimentação de caminhões e carregadeiras não é constante o que também diminuiu este efeito. O tombamento das pranchas e o recorte dos blocos são as fases que mais geram a emissão dessas partículas e onde estas estão em maior contato com os funcionários.

3.2 Geração de ruídos

As operações de decapeamento, perfuração, corte, carregamento e transporte que são feitas através de equipamentos, tais como, escavadeira, perfuratrizes, máquina de fio diamantado, carregadeira, caminhões, que geram níveis consideráveis de ruídos e vibração na área. Para controlar esses ruídos esses ruídos que são inevitáveis, cada trabalhador deve estar equipado com um EPI coerente com sua atividade, no caso dos ruídos, os trabalhadores devem usar constantemente o protetor auricular.

3.3 Alteração da topografia

Carreamento de sólidos e a movimentação de grandes volumes de terras às regiões mais baixas. É um impacto negativo, direto, local e imediato. Através do decapeamento, extração do material de interesse, desmonte da rocha ao longo das vertentes e deposição de estéreis que podem entulhar vales ocorre modificação da geomorfologia da área. Este impacto é de difícil solução, pois devido aos grandes parâmetros utilizadas nas BUA's torna-se um fator de grande complicação. Como mitigadora, alguns empreendedores tem usado uma solução orgânica, composta por líquens, capaz de escurecer os taludes rochosos de modo a reduzir o impacto causado pela alteração da topografia.

3.4 Impacto visual

Uma das mudanças mais marcantes na utilização do método de lavra por bancadas ultra-altas é a degradação visual da paisagem (figura 2).

Como medida mitigatória deve-se realizar a implantação das cortinas vegetais formadas por espécies arbóreas de médio e grande porte, de modo intercaladas, criando-se então um ateparo à frente de lavra dificultando a visibilidade das atividades àqueles que trafeguem próximos aos locais da atividade.



Figura 2 – Impacto visual causado pelas Bancadas Ultra-Altas (Fonte: MINERAÇÃO GUIDONI, 2016).

3.5 Risco de acidentes

Os taludes são superiores à 20,0 metros e a geometria do maciço não permite a abertura de vias de acessos, por isso a perfuração é feita por rapel. Mesmo que seja realizado por uma equipe especializada e treinada para esse tipo de operação há um risco ainda maior de acidente.

A movimentação dos equipamentos na frente de lavra, o manuseio das perfuratrizes e dos equipamentos de carregamento e transporte possuem potencial risco de acidentes. Por isso, deve-se seguir o que determinada a Norma Reguladora 35 – Trabalho em altura.

3.6 Resíduos sólidos

Os principais resíduos sólidos provenientes de uma lavra de rochas ornamentais são os fragmentos de rocha que não apresentam o caráter pétreo-ornamental capaz de agradar o mercado consumidor.

Por este motivo, parte do material explotado não é comercializado e despejado nos depósitos de estéreis geralmente do modo *hill-side* (ou em encostas). Esses materiais são classificados pela NBR 10.004:2004 como sendo da classe II A – não inertes e não possuem toxicidade e não degradam o meio ambiente.

Porém, devido à grande produtividade do método de bancadas ultra altas a quantidade de material estéril vem crescendo de modo exponencial. Assim, o grande desafio é encontrar meios de reutilizar os fragmentos de rocha que não são utilizados como objetos de ornamentação.

Campos et al (2009), definem algumas aplicações para os resíduos de rochas ornamentais como a fabricação de tijolos, argamassas, brita, substrato para construção de rodovias, dentre outros.

4. CONCLUSÃO

A mineração de rochas ornamentais é uma atividade essencialmente degradadora. O uso da metodologia de extração de granito com bancadas ultra-altas traz consigo impactos exacerbados.

A grande quantidade de estéreis oriundos da lavra e a grande altura dos taludes rochosos são os maiores impactos e os que apresentam maiores dificuldades na questão ambiental.

O uso de cortinas vegetais e o reaproveitamento dos estéreis são medidas que podem ser tomadas buscando a minimizar os impactos ambientais causadas por esta atividade.

No entanto, outras medidas devem ser executadas a fim de tornar essa atividade tão importante para o desenvolvimento do Estado do Espírito Santo em ações cada vez mais sustentáveis.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS – ABRIROCHAS. Brasil é destaque no mercado internacional de rochas ornamentais. Informe_01_2015

Disponível em:

<https://issuu.com/abirochas/docs/abirochas_em_noticia_1> Acesso em: 20. fev. 2016

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

CAMPOS, A. R.; CASTRO, N. F.; VIDAL, F. W. H.; CORLINI, M. C. Tratamento e aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais e de revestimento, visando mitigação de impacto ambiental. **Centro de tecnologia Mineral**, CETEM, 2012

FABRI, E. S.; JÚNIOR, H. A. N.; LEITE, M. G. P. Exploração de rochas ornamentais e meio ambiente. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 26 (2012), p. 189-197. Editora UFPR

MAIOR, G. R. S.; BARROS, M. L. S. C. Panorama da mineração de rochas ornamentais no estado do espírito santo com ênfase na lavra por bancadas ultra-altas. **Dissertação de Mestrado**, Recife, 2013.

MENEZES, R. G.; MELLO, E. F.; Curso de especialização em tecnologia e valorização em rochas ornamentais. **Monografia para o curso de Especialização em Tecnologia e Valorização em Rochas Ornamentais**, Rio de Janeiro, 2005.

MINERAÇÃO GUIDONI. Disponível em: <http://www.guidoni.com.br/pt_BR/jazidas> acessado em 29/02/2016.

AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DA MINERAÇÃO DA PROVÍNCIA PEGMATÍTICA BORBOREMA

*Keyla Karla de Melo Silva¹, Vivianne de Cássia Paixão Andrade², Hermeson Carneiro Rodrigues³,
Suelen Silva Rocha⁴, Evenildo Bezerra de Melo⁵*

¹ Bióloga, Especialista em Gestão Ambiental e Mestranda em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Pernambuco

² Engenheira de Minas e Mestranda em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Pernambuco

³ Engenheiro de Minas e Mestrando em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Pernambuco

⁴ Engenheira de Minas e Mestranda em Engenharia Mineral, Universidade Federal de Pernambuco

⁵ Geólogo e Doutor em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco

keylakmelo@hotmail.com

RESUMO

A Província Pegmatítica Borborema ou região Borborema-Seridó (PB/RN, NE Brasil) é uma área que merece uma atenção especial do poder público-privado devido as suas características socialmente estruturais provenientes das condições climáticas locais, e por ser uma região de intensas e imprescindíveis atividades primárias – agricultura, pecuária e mineração. Ao passo que a mineração promove a subsistência da população, acomete ao ambiente diversos agravos ambientais e, conseqüentemente, sociais. O presente estudo propõe identificar e avaliar qualitativamente os impactos ambientais decorrentes da atividade de extração mineral em pedreiras e garimpos situados na Província Pegmatítica Borborema. A metodologia consiste em revisão bibliográfica da temática proposta, observações *in loco*, técnica de Avaliação de Impactos Ambientais – AIA por método de lista de verificação (*Check list*), e registros fotográficos. Os dados coletados serviram para identificar as principais fontes de impacto ambiental no intuito de propor medidas preventivas e mitigadoras ao poder público, órgãos ambientais competentes e empreendedores locais. Foram identificados dentre estes empreendimentos os principais impactos ambientais que trazem prejuízos, direta ou indiretamente, aos trabalhadores, ambiente local e circunvizinhança: desconforto sonoro, poluição atmosférica e emissão de particulados; alterações na paisagem, geração e deposição de resíduos da mineração, entre outros. Desta

forma, os dados obtidos apontam para a necessidade de maiores investimentos, estudos e rigor ao cumprimento da legislação vigente, no que diz respeito a tornar a atividade de mineração da área em estudo mais sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: Pegmatitos, impacto ambiental, sustentabilidade

ABSTRACT

The Borborema Pegmatitic Province or Borborema/Seridó region (PB/RN, NE Brazil) deserves special attention from public and private administrations for its socially structural features due to the local climate and for being an area of intense and critical primary activities – agriculture, livestock farming and mining. While promoting local livelihood, mining generates many environmental, and consequently social aggravations. The objective of this study is to identify and qualitatively evaluate the environmental impacts resulting from mineral extraction in quarries and through mineral prospecting in the Borborema Pegmatitic Province. Data were collected through bibliographic review, *in loco* observations, Environmental Impact Assessment (EIA) check list and photographic records, and used in identifying the main impact sources with the objective of proposing preventive and mitigatory measures to the local administration, competent environmental agencies and developers. The most damaging direct and indirect environmental impacts from these activities to workers, local environment and surroundings were identified as, among others, noise-related discomfort, air pollution and particulate emission, scenery modification, and generation and deposit of mining activity residue. Thus, the collected data indicate the need for greater investment, further studies and more strictness in following the existing legislation, so that the local mining activity can become more sustainable.

KEYWORDS: Pegmatites, environmental impact, sustainability

1. INTRODUÇÃO

A exploração e utilização de rochas e minerais é uma atividade largamente difundida pelo homem desde os primórdios da humanidade até os dias atuais mediante ao forte desenvolvimento de metrópoles, crescimento urbanístico e desenvolvimento econômico no

âmbito nacional e mundial. Contudo, ao passo que o homem promove condições favoráveis a sua subsistência, acometem progressivas agressões simultaneamente o meio ambiente.

A Província Pegmatítica Borborema (PPB), localizada no nordeste oriental do Brasil, é uma área reconhecida tradicionalmente como produtora mineral desde os primórdios do século XX, tendo o garimpo de pegmatitos uma atividade de sustentação socioeconômica da região e designada como a segunda maior província pegmatítica do Brasil mediante a quantidade de corpos mineralizados e sua variedade de minerais raros (CASTRO e JATOBÁ, 2006).

Segundo Luz et. al (2003), os pegmatitos são rochas caracterizadas por sua composição basicamente granítica (quartzo-feldspático-moscovita), de granulação geralmente grossa, muitas vezes exibindo cristais gigantes, permitindo fácil separação e tendo como composição 60-70% de feldspato, 25-30% de quartzo, 5-10% de moscovita e 1-2% de minerais acessórios (OBA e RIBEIRO, 2006). Os corpos pegmatíticos mineralizados desta região, sejam metálicos, industriais e minerais-gemas, concentram-se preferencialmente entre municípios dos Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba. (IDEMA, 2010).

Esta região merece uma atenção especial do poder público-privado devido as suas características socialmente estruturais provenientes das condições climáticas locais, e por ser uma região de intensas e imprescindíveis atividades primárias – agricultura, pecuária e mineração. Segundo Cabral et. al. (2014), quanto à mineração, seus efeitos ambientais estão geralmente interligados a inúmeras fases de exploração dos bens minerais, desde a prospecção à desativação de pedreiras e minas.

Portanto, o conhecimento preliminar dos aspectos ambientais e respectivos impactos desta atividade econômica atende às expectativas de uma melhoria do meio ambiente, conhecendo-se, previamente, os problemas associados às etapas operacionais dos empreendimentos, por meio de instrumentos de avaliação de impactos, podendo assim criar medidas que evitem ou mesmo diminuam tais impactos, reduzindo os danos ambientais e conseqüentemente, os custos envolvidos na sua mitigação (BACCI et. al., 2006).

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho consiste na identificação e avaliação qualitativa dos impactos ambientais decorrentes da atividade de extração mineral em pedreiras e garimpos de afloramentos situados na Província Pegmatítica Borborema, contemplando os três pilares da sustentabilidade – sociedade, economia e ambiente.

3. METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende a Província Pegmatítica Borborema, situada em área aproximadamente 20.000km² e limitada pelas coordenadas geográficas 5°30'S e 7°30'S de latitude e 35°30'W de longitude, correspondente à parte oriental da faixa de dobramentos Seridó, entre os estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte. Contempla os municípios de Cubati, Seridó, Tenório, Sossego, Pedra Lavrada, Nova Palmeira, Picuí, Frei Martinho, Juazeirinho, Assunção, Junco do Seridó, Santa Luzia e Várzea (IDEMA, 2010). Cerca de 400 (quatrocentos) corpos pegmatíticos encontram-se encaixados em micaxistos, quartzitos e gnaisses do Grupo Seridó e, em proporções bem menores, nos gnaisses e migmatitos do complexo gnáissico–migmatítico (BARBATO, 2008).

3.2. Caracterização da metodologia

O estudo consiste em uma pesquisa empírica e descritiva dos impactos ambientais decorrentes das atividades de extração de rochas ornamentais locais, considerando-se os aspectos geológicos, econômicos, sociais e ambientais da área em questão.

3.3. Instrumento de coleta e análise de dados

Foi realizado, num primeiro momento, um levantamento bibliográfico dos trabalhos publicados referente à temática e assim possibilitar uma discussão dos resultados encontrados.

Em seguida, foram realizadas observações *in loco* provenientes de visitas técnicas em dez frentes de lavra de rochas ornamentais nos meses de junho e dezembro de 2015. Para a avaliação qualitativa dos impactos ambientais foi utilizado o método de lista de verificação (*Check list*) para a Avaliação de Impactos Ambientais – AIA, estruturado a partir de aspectos gerais da mineração, e registros fotográficos. A partir dos dados coletados, foram identificados os principais aspectos positivos e negativos ambientais das atividades de mineração e respectivas proposições de medidas preventivas e mitigadoras.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Aplicação do CHECK LIST

A literatura especializada dispõe de inúmeras técnicas de desenvolvimento para avaliação de aspectos e impactos ambientais, incluindo adaptações de modelos. Para esta pesquisa, a averiguação dos impactos ambientais foi realizada a partir do método de lista de verificação ou *Check list*, onde consta uma listagem de itens e subitens de termos de conceituação de atributos e definição dos parâmetros de valoração correspondentes que contempla a previsão da magnitude e a interpretação dos prováveis impactos que são relevantes ao estudo de avaliação ambiental. Este método é reconhecido como sendo de fácil compreensão, simplicidade de aplicação e entendimento. Contudo, por apresentar exigência reduzida de dados e informações impossibilitam a identificação de impactos de segunda ordem (CORINO, 2012).

Atributos e parâmetros podem ser utilizados conforme Mota & Aquino (2002), para a avaliação de Impactos dos meios físicos, bióticos e antrópicos, descritos como:

- Impactos positivos (+) e negativos (-) de caráter benéfico e adverso;
- Impactos positivos e negativos de magnitude pequena (P), média (M) ou grande (G);
- Impactos positivos ou negativos com importância não significativa (1), moderada (2) ou significativa (3);
- Impactos positivos ou negativos com duração curta (4), média (5) ou longa (6);
- Impactos positivos ou negativos em reversibilidade ou condição reversível (O) e irreversível (\emptyset);
- Impactos positivos ou negativos de ordem direta (D) ou indireta (I);

- Impactos positivos ou negativos com temporalidade temporária (T), permanente (P) ou cíclico (C);
 - Impactos positivos ou negativos de escala local (L) ou regional (R);
- ou impactos indefinidos.

Para cada empreendimento analisado, primeiramente foram selecionadas as atividades produtivas, além de seus produtos e serviços, onde os potenciais impactos ambientais gerados foram estimados a partir de suas decorrências provenientes de aspectos identificados e, posteriormente, dispostos em um modelo de *Check list* estabelecido. Após a compilação dos dados obtidos, foram descritos os fatores e impactos ambientais pontuais e mais significativos das atividades de extração de rochas ornamentais deste estudo e proposições preventivas e mitigadoras, que podem servir de base para uma avaliação futura de desempenho ambiental do empreendimento e implementação de um sistema de gestão ambiental.

3.2. Identificação, descrição dos impactos ambientais e proposições de prevenção e mitigação.

As dez pedreiras de pegmatitos contempladas neste trabalho concentram-se entre os municípios de Casserengue, Baraúna, Nova Palmeira, Planalto da Borborema, Serra das Poções, Alto Bonito e Picuí no Estado da Paraíba e municípios de Seridó, Pedra Lavrada e Currais Novos no Estado do Rio Grande do Norte. Apresentam características peculiares de mineração em pequena escala (MPE) a partir da peculiaridade de sua escala de produção e forma rudimentar quanto à extração e processamento (MELO, 2011) e lavra a céu aberto, onde oito empreendimentos encontram-se em status ativo e dois com status inoperante, apresentando como produto rochas ornamentais potenciais para pisos, revestimentos e ornamentação e outros bens minerais, como minerais industriais e gemas. Os empreendimentos apresentaram similaridades operacionais e produtivas, salvo algumas particularidades, e, conseqüentemente, semelhantes impactos em potencial.

Durante a visita de campo, observou-se que as minerações caracterizam-se, em destaque, por baixo ou nenhum nível de mecanização, baixo desenvolvimento tecnológico, intensa utilização de mão-de-obra, baixos a inexistentes padrões de segurança, saúde e higiene ao trabalhador, carência de capacitação de mão-de-obra, gargalos tecnológicos, lavra predatória, ausência de

apoio técnico e equipamentos de proteção individual (EPIs), má utilização dos recursos disponíveis, deterioração ambiental da qual ocasiona um nível elevado de impacto, entre outros. Segundo Martins et. al. (2007), todas essas variáveis contribuem para o fomento de estratégias de formalização através da participação de empresas de médio porte ou por ações de compradores de outras regiões, onde, ao decorrer dos últimos anos ocorreu, consolidara a formação de quatro associações de garimpeiros e de duas cooperativas de base mineral. Todavia, o quadro geral do modelo de produção de bens minerais na PPB ainda encontra-se limitado, entre outros fatores, pelo baixo aporte tecnológico e pela ausência de financiamento compatível para os pequenos produtores.

A Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) é um conjunto de procedimentos coniventes à realização de Estudos de Impactos Ambientais (EIA) preconizados pela Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 001/86 (BRASIL, 1986). Esta avaliação exerce um exame sistêmico dos impactos ambientais, traz resultados adequados ao público e responsáveis a decisões, sejam privados ou órgãos públicos, e um conjunto de procedimentos que garantem a proteção ao meio ambiente, promovendo o papel de facilitador da gestão ambiental aos empreendimentos (SÀNCHEZ, 2008).

A partir da metodologia proposta, foram identificados como potenciais impactos ambientais nos empreendimentos em questão, dos quais acometem prejuízos, direta ou indiretamente, aos trabalhadores, ambiente local e circunvizinhança: decapeamento da camada vegetal para exploração da área, poluição atmosférica e emissão de gases e particulados, desconforto sonoro, alterações na paisagem, intervenção das feições de características rurais, deposição de rejeitos do corte da rocha geração e resíduos da mineração, entre outros.

O conhecimento adequado sobre as técnicas de lavra a serem empregadas, o desmonte e características geológicas das jazidas são fatores que corroboram para o aproveitamento integrado dos pegmatitos. Por exemplo, as características intrínsecas do afloramento como altura da bancada, abertura da frente de lavra perpendicular à superfície de alongamento natural da rocha, e a presença de “mulas”, “barbantes” e fraturas, que são variáveis de local para local, irão inferir no aproveitamento da mesma. Em ótimas condições, o desdobramento da prancha em bloco pode chegar a um aproveitamento de 50%, contudo, quando as características da rocha não são favoráveis, o aproveitamento chega a 15%, o que implica em gargalos ambientais à atividade. O excessivo volume de rejeito gerado levanta a hipótese sobre a necessidade da implementação de medidas alternativas para que esse material tenha outra finalidade econômica e desobstrua a

área onde a mineração ocorre minimizando os impactos ambientais, sobretudo os visuais. Uma medida que se adota, para otimizar o aproveitamento das rochas minimizando o volume de rejeito, é a fabricação de placas menores por talha bloco. Esse material também pode ser utilizado como argamassa, devido sua composição magnésiana de baixa oxidação.

Os impactos se iniciam na fase de decapeamento e trabalhos de movimentação de terra que ocasionam alteração definitiva na topografia original do relevo, desflorestamento das comunidades vegetais endêmicas importantes para a subsistência da população, assim como alterações nas características geotécnicas, gerando prejuízos sobre os aspectos naturais do ambiente local modificando as propriedades específicas do solo presente na área do empreendimento. Existe uma estreita relação entre os sedimentos e o capeamento vegetal, pois uma interação biunívoca entre os mesmos torna o sedimento local vulnerável. A destinação deste estéril seria de extrema valia para as atividades pecuárias como substrato mineralogicamente adequado para o pastoreio em áreas vicinais, pois, por ser uma área agropastoril, há muita plantação de forragem para o gado com palmas dispostas espaçadamente. Também podem ser utilizados para reflorestamento e recuperação de áreas degradadas.

Os impactos paisagísticos em lavras mineiras são resultantes dos aspectos das escavações a céu aberto, como também da disposição dos rejeitos em superfície, das barragens de rejeitos. Planos de recuperação de área degradada (PRAD), quando não apenas direcionado ao Plano de Fechamento de Mina, são para todas as fases operacionais minimizando os impactos e favorecendo o restabelecimento da área após exaustão da jazida e processo de desativação. (LIMA, et. al., 2006).

Em empreendimento situado no município de Serra das Poções/PB, o quartzito e a ardósia são extraídos por atividade primária quase artesanal e desmonte feito com alavancas, separação das peças realizada de acordo com o plano de fraturas e material destinado à venda em forma bruta. Os trabalhadores operam em sistema de cooperativa, a partir de lavra manual em uma única bancada, tendo a manjarra como sistema de transporte. O afloramento apresenta uma incidência de talude negativo com potencial risco à segurança dos mesmos, o que requer um planejamento adequado de mecanização do serviço e cuidado com a mão-de-obra. A ardósia não recebe polimento, são serradas, e o corte de suas peças é feito por marcação nas mesmas. Os sistemas de fraturas definem o tamanho máximo das peças produzidas. Pode-se perceber a grande quantidade de rejeitos nas encostas, material este que pode ser utilizado na produção de argamassa.

A Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), dispõe sobre a responsabilidade compartilhada aos atores poluentes no Art. 30, do qual preconiza “reduzir a geração de resíduos sólidos, o desperdício de materiais, a poluição e os danos ambientais” (BRASIL, 2010), cabendo aos empreendedores, devida remoção ao término das atividades e destinação para áreas adequadas ao seu aproveitamento, seja através da produção de brita, argamassa, cantaria ou produção de chapas menores com finalidades ornamentais.

A utilização de resíduos minerais é importante tanto do ponto de vista social e ambiental, quanto do técnico e econômico, uma vez que proporciona um uso eficiente dos recursos, valorização do resíduo, geração de novos empregos, redução dos custos com o seu descarte e redução dos impactos ambientais.

Os empreendimentos temporariamente inativos, ora localizados em Baraúna-PB, com exploração paralisada por questões jurídicas referentes ao desacordo entre proprietário e agente minerador; ora no município de Picuí-PB, por comportar maciço aflorante sem viabilidade para produção de blocos por apresentar em todas as faces frequências de fraturas de distensão perpendiculares entre si, fraturas de alívio e mulas de xisto, apresentando um alto volume de blocos que poderiam ser aproveitados para outras finalidades, promovendo impactos visuais, alterações a paisagem e disposição inadequada de rejeitos.

O decapeamento, desmonte da rocha com uso de explosivos, carregamento e transporte do minério em todos os empreendimentos remetem emissão de particulados e gases, poluição ambiental e desconforto sonoro, seja aos trabalhadores quanto às localidades circunvizinhas. A apresentação da metodologia de estimativa das emissões utilizadas para elaboração do Inventário de Fontes de Emissão comporta o controle na alteração da qualidade do ar. Dentre os processos metodológicos, a descrição de tecnologias utilizadas e características dos sistemas/equipamentos destacam as emissões atmosféricas a serem geradas, especificando as principais fontes de emissão, otimizando um melhor controle para esta problemática.

A geração de ruídos é um fator determinante no processo de implantação e operação do empreendimento. O gerenciamento e caracterização de suas fontes, tanto quanto os níveis de ruídos devem ser monitorados na área de influência do empreendimento, seguindo normas regulamentadoras de segurança do trabalho (NR 5), Resolução CONAMA Nº 01/1990, NBR 10.151, NBR 10.152 e NBR 13.369 (cálculo simplificado do nível de ruído equivalente contínuo - LEQ).

Ruídos e vibrações também podem acarretar no deslocamento da fauna e, conseqüentemente, a proliferação de vetores mediante a uma quebra na cadeia biológica do

habitat em decorrência. Inventários florístico e faunístico se fazem indispensáveis para o monitoramento ecológico do local, onde devem ser monitoradas, por exemplo, as espécies ameaçadas em extinção, as endêmicas, indicadoras de qualidade ambiental e rotas migratórias de espécies relevantes ao ambiente, entre outras. A partir destes estudos é possível estabelecer ações de preservação ao patrimônio genético e sua utilização de forma racional, gerando subsídios para futuros projetos de recuperação de áreas degradadas. (PEREIRA JÚNIOR, et. al., 2012)

5. CONCLUSÕES

A exploração mineral é uma atividade largamente difundida, desde os primórdios até os dias atuais, primando por atender as necessidades da sociedade moderna. Contudo, é uma atividade caracteristicamente predatória, visto que para sua realização necessita, obrigatoriamente, retirar do meio ambiente os recursos naturais, podendo ocasionar a exaustão da área, uma vez que inexistente a reposição adequada do que foi extraído.

Existem procedimentos que são indispensáveis para a minimização dos impactos, e tanto a ausência de planejamento operacional adequado quanto de estudos geológicos e ambientais sobre o comportamento do maciço podem granjear gargalos à atividade, fazendo com que a mesma não se desenvolva de forma otimizada, com o máximo de aproveitamento e retorno financeiro.

A identificação dos aspectos e impactos ambientais nas atividades de extração mineral denota a necessidade da gestão ambiental em todas as fases do empreendimento, especialmente nas operações de lavra, onde ocorre maior geração de resíduos, incômodos e poluição. A concepção de diretrizes para elaboração de planos e programas ambientais direcionados a este seguimento econômico apresenta fator importante para atingir os objetivos estabelecidos relativos às premissas do desenvolvimento sustentável. A preocupação efetiva com o meio ambiente contribui para o aumento da competitividade, redução de custos e tempo de produção, melhoria da qualidade nos serviços e produtos, qualificação e segurança da mão de obra, novas tecnologias de produção mais limpa e preventiva.

Portanto, sugere-se maior integração entre a comunidade científica, a partir de seus estudos de melhoramento dos paradigmas da gestão; das mineradoras e cooperativas, em melhorar seu desempenho ambiental e, conseqüentemente, qualidade socioeconômica; da sociedade, ator fundamental nas reivindicações para melhoria na qualidade de vida; e, por fim,

dos órgãos competentes à fiscalização do cumprimento das legislações ambientais vigentes, no intuito de supervisionar o desempenho ambiental dos empreendimentos, comprometidos ou não, com atual situação do meio ambiente. Desta forma, o objetivo proposto em contemplar os três pilares da sustentabilidade – sociedade, economia e ambiente – terá sua devida atenção e aplicabilidade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGELIM, L. A. A.; MEDEIROS, V. C. & NESI JR. 2006. Programa Geologia do Brasil - PGB. Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte.**

BARBATO, C. N. **Aproveitamento de feldspato pegmatítico da região Borborema- Seridó para a produção de uma vitrocerâmica felspática reforçada com leucita/** Carla Napoli Barbato, Tsuneharu Ogasawara, João Alves Sampaio. – Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 41p. (Série Rochas e Minerais Industriais, 13).

BACCI, D. I. C; LANDIM, P. M. B; ESTON, S. M. Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana. REM: **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, 59(1): 47-54, jan. mar. 2006

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução Nº 001, de 23 de janeiro de 1986** - Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, de 23 de janeiro de 2002.

BRASIL, Leis. Ministério do Meio Ambiente – MMA. **Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acessado em: 27 dez. 2013.

CABRAL, L. N.; PEREIRA, S. S.; ALVES, T .L .B. O uso do método da listagem de controle na identificação dos impactos ambientais decorrentes da extração de minérios na área rural de Campina Grande-PB **Ambiente Mineral – Revista Brasileira de Mineração e Meio Ambiente**, Volume 4, No 1, 2014

CARVALHO, J. M. F. Prospecção de Rochas Ornamentais. **Revista Portugal Mineral**, nº 3 – Edição Especial – Indústria Extractiva – Julho 2011, Edição ANIET, páginas, 97-103.

CASTRO, C.; JATOBÁ, L. **Listosfera: Minerais, Rochas e Relevô**. Recife: Bagaço, 2006.

CORINO, L.H. 2012. **Avaliação de Impacto Ambiental**. Endereço eletrônico: http://www.trecsson.com.br/arquivos/downloads/arq_17.dat Acessado em: 11 de Agosto de 2015.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RN (Natal/RN). Perfil do seu município. Disponível em:

www.idema.rn.gov.br/contentproducao/aplicacao/idema/socio_economicos/enviados/perfil_municipio.asp> Acesso em: 20 jun. 2015.

FERREIRA, J.A.M. & ALBUQUERQUE, J.P.T. **Sinopse da geologia da folha Seridó**. Ser. Geol. Reg. SUDENE, Recife, n. 18, 1969. 52 p.

LIMA, H. M. DE; J., FLORES, C., DO C.; COSTA, F. L. Plano de recuperação de áreas degradadas versus plano de fechamento de mina: um estudo comparativo. **REM: Revista Escola de Minas, Ouro Preto, 59(4), 397-402, out. dez. 2006.**

LUIZ, A. B.; LINS, F. A. F.; PIQUET, B.; COSTA, M, J.; COELHO, J.M. **Pegmatitos do Nordeste – Diagnóstico sobre o aproveitamento racional e integrado**. Série Rochas e Minerais Industriais, CETEM. Rio de Janeiro – RJ, 2003.

MARTINS, G., CORTEZ, C. M. B. & FILHO, A. F. Estágio atual e desafios futuros da atividade extrativa mineral em pequena escala na província pegmatítica Borborema, estados do Rio Grande do Norte e Paraíba. **Revista de Geologia**, 2015 Vol. 20, nº 1, 83-89, 2007.

MELO, R. O. F. de. **A mineração artesanal de pequena escala em pegmatitos e cerâmica no município de Parelhas**. Região do Seridó/ Rio Grande do Norte. Dissertação Programa em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Rio Grande do Norte, Universidade Federal do Rio grande do Norte, 2011.

MENDES, V. A; LIMA, M. A. B & MARQUES, M. N. **Tecnologia de Rochas ornamentais: Pesquisa, lavra e beneficiamento**. Janeiro: CETEM/MCTI. ISBN: 987-85– 8261-005-3. p 99 - 150

MOTA, S.; AQUINO, M. D. Proposta de uma matriz para avaliação de impactos ambientais In: **Anais**, Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (SIBESA), VI, ABES, Vitória-ES, 2002.

OBA, C. A.I.; RIBEIRO, L.P.B. Flotação dos feldspatos, In: **CHAVES, A. P. Teoria e Prática do Tratamento de Minérios – Flotação**. 1ª ed. São Paulo, SP, SP, Brasil: Signus Editora, v.4, 2006.

PEREIRA JÚNIOR, L. R; ANDRADE, A. P. de; ARAÚJO, K. D. Composição florística e fitossociológica de um fragmento de caatinga em Monteiro, PB. **Holos**, Ano 28, Vol 6, 2012.

SÀNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. Editora Oficina de textos, 2008.

UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DOS PEGMATITOS ORNAMENTAIS DE EQUADOR/RN PARA FORMULAÇÕES DE CIMENTO PORTLAND

Marcos Aurélio de Oliveira Maia¹, Jeimison André Gomes de Paiva², Silas Samuel dos Santos Costa³, Marcondes Mendes de Souza⁴

¹ Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do RN – IFRN/CNAT – DIAREN – Av. Sen. Salgado Filho 1559 – Tirol - Natal – RN – (Brasil)

² Aluno do Curso Técnico Subseqüente de Mineração do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do RN – IFRN/CNAT – DIAREN – Av. Sen. Salgado Filho 1559 – Tirol - Natal – RN – (Brasil)

³ Aluno do Curso Técnico Integrado de Mineração do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do RN – IFRN/CNAT – DIAREN – Av. Sen. Salgado Filho 1559 – Tirol - Natal – RN – (Brasil)

⁴ Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do RN – IFRN/CNAT – DIAREN – Av. Sen. Salgado Filho 1559 – Tirol - Natal – RN – (Brasil)

marcos.maia@ifrn.edu.br

RESUMO

A necessidade definida pelas mais diversas indústrias por minerais e rochas industriais, em particular por rochas ornamentais, tem feito com que a exploração desse recurso tenha aumentado nos mais recentes anos. E com esse relativo aumento de empreendimentos minerais em rochas ornamentais no estado do Rio Grande do Norte, também está em evidência a quantidade de rejeito produzido tanto no corte na lavra como no beneficiamento nessas pedreiras. Mediante a questão, o presente trabalho verifica por meio de parâmetros químicos estabelecidos em análise definir uma utilização destinada a indústria do cimento Portland que seja solução e que, simultaneamente, seja viável para minimização dos impactos ambientais relacionados ao segmento, e no caso, no eixo Parelhas/RN e Equador/RN. O artigo busca durante suas discussões correlacionar através de uma análise comparativa e crítica o emprego dos resíduos dos pegmatitos ornamentais, coletados em uma mina produtora do estado, para substituição do calcário ou da fase Alita na formulação do clínquer no cimento Portland, que foram constatadas quimicamente, precisando ainda de testes posteriores para verificação da qualidade do material adicionado de resíduos de rochas ornamentais.

PALAVRAS-CHAVE: Pegmatito ornamental, cimento Portland, clínquer.

ABSTRACT

The need defined by various industries for minerals and industrial rocks, particularly for ornamental rocks, has made the exploitation of this resource has increased in recent years. And with this relative increase of mineral developments in ornamental rocks in the state of Rio Grande do Norte, is also in evidence the amount of waste produced both in cutting the mining and processing in these quarries. Upon issue, this paper checks by chemical parameters established in analysis set a use intended for the cement industry Portland that is solution that simultaneously is feasible to minimize the environmental impacts related to the segment and in this case, the shaft Parelhas/RN and Equador/RN. Article search during their discussions correlate through a comparative analysis and critical employment of waste ornamental pegmatites collected in a production state mine to replace the limestone or Alita phase in clinker formulation in Portland cement, which were found chemically, requiring still further tests to verify the quality of the added waste material of ornamental rocks.

KEYWORDS: Ornamental pegmatite, Portland cement, clinker.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por minerais e rochas industriais, em especial por rochas ornamentais, tem feito com que a exploração desse recurso tenha aumentado nos últimos anos, inclusive no estado do Rio Grande do Norte. Chiodi Filho et al. (2004), por exemplo, ponderam que o Brasil está vivenciando uma onda exportadora no setor de rochas, relativa aos produtos processados semiacabados e envolvendo principalmente chapas de granito.

O Rio Grande do Norte apresenta um potencial exploratório no segmento das rochas ornamentais, destacando-se a Região do Seridó, em particular, como um expoente polo produtivo, no qual grandes empresas, tanto potiguares, como de outros estados, tem se instalado e estão produzindo materiais nobres, atendendo às demandas dos mercados nacionais e internacionais. No eixo Parelhas/RN e Equador/RN, por exemplo, registra-se a produção do Granito Branco, outrora designado comercialmente como Branco Equador ou Granito Branco Elite, destacado por

apresentar características texturais atípicas e assimilação a grandes corpos de pegmatitos homogêneos, igualmente lavrados, cujos resíduos são descartados, nas marginais das pedreiras, configurando um expressivo impacto ambiental (Figura 1).



Figura 1 – Área de Descarte de Resíduos de rocha ornamental em pedreira (Thor Granitos)

Com a expansão da demanda, o ritmo de produção aumenta e, como consequência natural da extração dos blocos, ocorre a produção de rejeitos ocasionados pela lavra. Além do impacto visual estão implícitos no passivo ambiental, o soterramento da vegetação, assoreamento das drenagens e cursos d'água, bem como, a interferência na qualidade do solo da região.

Torna-se importante o registro que, muitos autores e pesquisas realizadas nesse sentido, já interviram contributivamente, com a utilização dos rejeitos de rochas ornamentais em aplicações tecnológicas, em diferentes segmentos da indústria de transformação de matérias primas: Moreira *et al.* (2005) em cerâmica vermelha; Freire *et al.* (2005) para confecção de blocos paisagísticos; Rodrigues *et al.* (2011) utilização em materiais vítreos; Da Silva (2011) para lama abrasiva; Da Costa (2013) como corretivo e fertilizante de solos agrícolas; dentre outros estudos desenvolvidos pela iniciativa privada, universidades e centros de pesquisa e desenvolvimento, com destaque recente, para a contribuição dos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia (Rede Federal), em particular do IFRN-CNAT, em busca de soluções conjuntas para tão relevante tema.

2. OBJETIVOS

Os objetivos do presente trabalho perpassam os âmbitos da problemática em questão, qual seja, a volumosa quantidade de rejeitos produzidos pela mineração de rochas ornamentais, e almejam através de uma metodologia investigativa preliminar, caracterizar quimicamente os componentes minerais nos rejeitos dos pegmatitos ornamentais da região de Equador/RN,

identificando e recomendando possíveis aplicações do material para a indústria do cimento, seja na blendagem ou nos componentes de complementação das formulações de cimento Portland.

3. METODOLOGIA

Os elementos metodológicos utilizados no trabalho foram os padrões usualmente estabelecidos para análises químicas de minerais, sendo o material coletado aleatoriamente e de forma não sistêmica, nos blocos de rejeito da rocha pegmatítica. Tal litologia, apresenta feições de homogeneidade e constituição mineralógica, característica de uma rocha extremamente félsica.

Foram realizados em laboratório os procedimentos de cominuição, classificação por peneiramento e homogeneização resultando numa amostra, cuja determinação semi-quantitativa de sua composição química, foi realizada por um espectrômetro de fluorescência de raios-x (FRX), permitindo com esse resultado, sugerir estudos e ensaios tecnológicos que viabilizem as adições minerais na preparação de formulações.

3.1 Visita técnica e coleta da amostra

A visita técnica foi realizada por um grupamento do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – Campus Natal Central (IFRN-CNAT) a uma empresa que produz o Pegmatito ornamental (Granito Branco) no município de Equador/RN. durante a visita foram coletadas amostras aleatórias do material (Figura 2) para a realização de estudos, ensaios, e aplicação em formulações, testando compatibilidade do resíduo para reaproveitamento como insumo industrial.



Figura 2 - Amostra do material estudado, rocha pegmatítica de Equador/RN (Elaboração dos autores)

3.2 Homogeneização, cominuição e peneiramento

O material foi cominuído por britagem e por moagem no Laboratório de Processamento Mineral do IFRN-CNAT, logo após, foi homogeneizado e peneirado para as especificações da caracterização química. A britagem se deu em um britador de mandíbulas, a moagem em martelos e em bolas de alumina, o peneiramento se deu em peneiras de laboratório e foi recolhido o retido na malha #200 (200 mesh) e a homogeneização se deu por quarteamento manual e o material foi separado em 165,0 g pesados em balança de precisão (Figura 3).



Figura 3 - Amostra

preparada para a

caracterização (Elaboração dos autores)

3.3 Espectrometria de Fluorescência de Raios-X e estudo das composições dos resíduos

A análise química do material foi realizada por fluorescência de raios-X por energia dispersiva (FRX), no Laboratório de Caracterização de minerais/materiais do IFRN-CNAT. Com base nas análises químicas do material com granulometria inferior a 200 mesh (74 μm) foi determinado o tipo de usabilidade através de bases comparativas com padrões da indústria para os componentes de formulação do cimento, com base nos resultados experimentais. O equipamento utilizado foi o EDX-720 da Shimadzu e o método utilizado foi o quantitativo, em vácuo de atmosfera, captando os elementos na faixa Ti-U e Na-Sc.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Compatibilidade do material para a utilização em formulações de cimento

Em respaldo a utilização das ferramentas de metodologia foram obtidos resultados. Os parâmetros utilizados, inclusive, se devem a espectrometria realizada, através desta obteve-se resultados em porcentagem para óxidos do rejeito de rocha ornamental em estudo. Verificou-se que, de forma anômala, a amostra contava com grande conteúdo de CaO, cerca de 70,739% do total, o que é incomum para a composição litológica local. Além disso, o material amostrado contou com 27,949% de SiO₂, 0,447% para Al₂O₃, 0,434% para Fe₂O₃, 0,276% para K₂O, 0,120% para MnO, 0,018% para CuO e 0,016% para SrO, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Resultado em % de óxidos, base calcinada, normalizados a 100% (Elaboração dos Autores)

Óxidos (Amostra)	Concentrado n° EQD RN 001
CaO	70,739
SiO ₂	27,949
Al ₂ O ₃	0,447
Fe ₂ O ₃	0,434
K ₂ O	0,276
MnO	0,120
CuO	0,018
SrO	0,016

Tendo em vista os parâmetros químicos gerais obtidos para o rejeito de rochas ornamentais o que pode ser constatado pelos resultados analíticos preliminares, que os teores encontrados são favoráveis a aplicação em relação a constituintes do cimento Portland.

Para realizar uma análise comparativa entre os parâmetros químicos gerais do material em estudo e um material escolhido, faz-se necessário abordar as definições e dados sobre o cimento Portland e seus componentes. A definição de cimento Portland utilizada pela Associação Brasileira de Cimento Portland (2002) sugere que essa é uma denominação convencionalmente mundialmente para o cimento, sendo este um pó fino com propriedades aglomerantes e tendo como matérias-primas, basicamente, o clínquer e os aditivos.

O clínquer para Rubert (2015) é a mistura de calcário com argila que depois de sinterizado assume forma de nódulos. O clínquer e sua composição pode variar dependendo do tipo do cimento Portland desejado, no entanto, generaliza-se a forma típica do material para 67% de CaO,

22% de SiO₂, 5% de Al₂O₃, 3% de Fe₂O₃ e 3% de outros componentes, distribuídos por quatro fases distintas, conhecidas como alita (composto C₃S, majoritariamente com 71,6% de CaO, 25,2% de SiO₂ e 1,0% de Al₂O₃), belita (C₂S, 63,5% de CaO, 31,5% de SiO₂ e 2,1% de Al₂O₃), fase aluminato (C₃A, 58,1% de CaO, 4,6% de SiO₂, 33,8% de Al₂O₃ e 1,0% de Fe₂O₃) e fase ferrita (C₄AF, 47,5% de CaO, 3,6% de SiO₂, 21,9% de Al₂O₃ e 21,4% de Al₂O₃) (TAYLOR, 1990). Já os aditivos, geralmente, são compostos químicos adicionados à formulação do cimento, ou para melhoria de propriedades físico-químicas ou na dosagem da composição para obtenção de um tipo em particular, é recomendável que se use de no máximo 5,0% da formulação total em aditivos, CaSO₄.2H₂O (gesso), MgO e CaF₂ são os principais aditivos utilizados.

Fazendo a contraposição dos dados encontrados na bibliografia, com as informações químicas da caracterização (Tabela 2), constata-se que o resíduo do pegmatito ornamental tem suas características voltadas para a utilização na composição do clínquer, uma vez que o teor de CaO e SiO₂ se aproximam em percentuais e que a presença de contaminantes no rejeito pode ser desprezível em relação a formulação padrão do clínquer.

Além de se assemelhar com a fase cristalográfica alita (C₃S) do clínquer em termos percentuais de teores, ou seja, pode ser fonte de obtenção de clínquer alítico, o material em estudo pode ser potencial substituto do Calcário que é utilizado na formulação do clínquer (comumente com teores de 50% de CaO e com 5% de SiO₂) e tem teor relativamente abaixo da média no que se diz respeito a formulação final do clínquer que possui em torno de 65% de CaO e 25% de SiO₂. A composição química do rejeito também se apresenta favorável a utilização para Fíler, aditivo de preenchimento de vazios, que também se assemelha da composição química do calcário.

Tabela 2. Teores (em %) do rejeito do pegmatito ornamental em contraposição as formulações padrões do clínquer (Elaboração dos Autores)

Óxidos	Teores - Rejeito	Teores – Clínquer Alítico (Taylor, 1997)	Teores - Clínquer
CaO	70,739	71,6	59-67
SiO ₂	27,949	25,2	16-26
Al ₂ O ₃	0,447	1,0	4-8
Fe ₂ O ₃	0,434	0,7	2-5
K ₂ O	0,276	0,1	0-1,5
MgO	0	1,1	0,8-6,5
Na ₂ O	0	0,1	0-1,5
SO ₃	0	0,1	0,5-1,2

5. CONCLUSÃO

Evidentemente, para a real confirmação de compatibilidade do material de resíduos de rochas ornamentais para a utilização em formulações de cimento Portland se fazem necessários ensaios determinativos, como: estudo mineralógico e cristalográfico da substância e do clínquer, parâmetros químicos de mistura crua, testes de clínquerização e adições, perda de água, ensaios mecânicos, além de acompanhamento químico e testes com tempo de pega.

Mesmo que sejam necessários vários estudos para compatibilidade do material de resíduos de rochas ornamentais, a importância deste esboço de caracterização tecnológica é inquestionável, uma vez que produz expectativas para o reaproveitamento dos rejeitos de rochas ornamentais, especificamente, as do eixo Equador/RN-Parelhas/RN e do seu âmbito geológico, determinando novos modelos para redução de impactos ambientais e, conseqüentemente, sociais, o que é de bom proveito para as empresas produtoras em pedreiras situadas no núcleo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento Portland. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p.

CHIODI FILHO, Cid; RODRIGUES Eleno de Paula; ARTUR, Antonio Carlos. Panorama técnico econômico do setor de rochas ornamentais no Brasil. UNESP, São Paulo, v.23 n 1/2, p.5-20, 2004.

DA COSTA, Alexandre Sylvio Vieira *et al.*. Uso do resíduo de granito oriundo da serraria e polimento como corretivo e fertilizante de solos agrícolas. Revista Geonomos, v. 18, n. 1, 2013.

DA SILVA, André Araujo Alves. Gestão de resíduos na indústria de rochas ornamentais, com enfoque para a lama abrasiva. 2011.

FREIRE, Leonardo Cattabriga; QUEIROZ, Joedy Patrícia Cruz; CARANASSIOS, Adriano. Utilização de Resíduos Oriundos do Desdobramento de Rochas Ornamentais Para Confecção de Blocos Paisagísticos. XVII Jornada de Iniciação Científica-CETEM, p. 137-143, 2009.

MOREIRA, J. M. S.; MANHÃES, J. P. V. T.; HOLANDA, J. N. F. Reaproveitamento de resíduo de rocha ornamental proveniente do Noroeste Fluminense em cerâmica vermelha. Cerâmica, v. 51, n. 319, p. 180-186, 2005.

PRANDO, Lorenzo Pratti; HALASZ, Marcos Roberto Teixeira. Análise de Parâmetros Físico-Químicos de Cimentos com Incorporação de Resíduos de Rochas Ornamentais. Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 16, n. 9, p.2796-2814, 01 jul. 2013.

RODRIGUES, Girley Ferreira *et al.*. Estudo de resíduos de rochas ornamentais para a produção de materiais vítreos. *Tecnologia em Metalurgia e Materiais*. São Paulo, v. 8, p. 203-207, 2011.

RUBERT, Sílvia. Contribuição ao estudo de cimentos supersulfatados: formulação e mecanismos de hidratação. 2015.

TAYLOR, H. F. W. *Cement Chemistry*. London: Academic, 1990.

TAYLOR, H. F. W. *Cement chemistry*. 2. ed. London: Thomas Telford, 1997.

ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE QUARTZITOS PROVENIENTES DA REGIÃO DO SERIDÓ PARAIBANO NA INDÚSTRIA CERÂMICA

Anne Gabriele Arcanjo da Silva ¹, *Defsson Douglas de Araújo Ferreira* ², *Mônyka Karoline dos Santos Andrade Guimarães* ³, *Adriana Lemos Porto* ⁴

¹ Discente, Instituto Federal da Paraíba

² Discente, Instituto Federal da Paraíba

³ Discente, Instituto Federal da Paraíba

⁴ Docente, Instituto Federal da Paraíba

gabrielleearcanjo@gmail.com

RESUMO

Alguns países, como o Brasil, que possuem relevantes recursos de rochas para fins ornamentais e de revestimento, enfrentam sérios problemas com os resíduos provenientes da sua extração e do seu beneficiamento. As leis ambientais, exigem das atividades que lidam com recursos naturais, a realização dos trabalhos de forma racional, sustentável e que causem o mínimo impacto ao meio ambiente. Dessa forma, as empresas que não cumprem o disposto em lei, sejam estas grandes ou pequenas, estão sujeitas a penas e multas, além da suspensão das atividades. Na região do Seridó paraibano, local onde a extração e exportação de rochas quartzíticas é de importância indiscutível para a economia da Paraíba e do Brasil, tais atividades são realizadas em garimpos onde os materiais e métodos têm um grau de mecanização relativamente baixo. Assim, estas geram grandes volumes de resíduos que são dispostos de forma inadequada no meio ambiente, sem previsão de utilização ou aproveitamento. Com isso, objetivando solucionar o problema do descarte e acúmulo desses resíduos no meio ambiente e encontrar a mais adequada aplicação industrial para o aproveitamento destes, foi desenvolvida esta pesquisa. Além de, simultaneamente auxiliar as empresas exploradoras da região, para que possam realizar suas atividades de modo sustentável e atendendo aos requisitos dispostos na lei.

PALAVRAS-CHAVE: reaproveitamento, resíduos sólidos, mineração.

ABSTRACT

Some countries, like Brazil, that possess natural ornamental and revetment rocks as natural resources, face serious problems with residuals from the extraction and processing of these rocks. The environmental laws require from the activities that deal with natural resources to be done in the most rational and sustainable way, causing the less impact possible to the environment. Therefore, small or big companies that do not follow those rules are fined and can have their activities suspended. In Paraíba, Seridó is a region where quartz rocks' extraction and export have an incontestable importance to the local and national economy. Those activities happen in mining camps where material extraction methods do not have a proper mechanical and engineering level, thus generating great amounts of residuals that are improperly disposed in the environment without any collect or reuse planning. This study has the purpose to decrease the amount of these residuals in the environment finding the most reliable alternative to reuse them, further assisting mining companies from the region to realize their activities in a more sustainable way and attending the current laws.

KEYWORDS: reuse, solid residuals, mining.

1. INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade que lida com um conflito constante. Este ocorre entre a necessidade da exploração da matéria na natureza, para sobrevivência e desenvolvimento humano, e o cuidado e preservação daquela que é nossa fonte finita de riqueza. Dentre os impactos causados por essa atividade, os que mais se destacam são, a modificação do local causado pela exploração da natureza e a geração de resíduos sólidos. Nela, o setor da produção de rochas ornamentais, devido a suas baixas taxas de aproveitamento, é um grande colaborador para a criação desses resíduos. No Brasil, onde consideramos uma taxa de aproveitamento média até a produção de chapas de, aproximadamente, 17%, pode-se estimar que foram geradas algo mais de 22 milhões de toneladas (Mt) de resíduos em 2012. (VIDAL, Francisco W.H. Tecnologia de Rochas Ornamentais).

A produção demasiada de tais resíduos na mineração deve-se, entre outros fatores, à concepção da própria indústria mineradora sobre estes, visto que, em muitos casos é preferido gerar uma nova demanda do minério da natureza, quando a reutilização dos resíduos fica em segundo plano, até mesmo quando apresentam uma alta potencialidade de utilização.

Assim, para que seja alcançado produção e consumo sustentáveis dos recursos naturais, é preciso que se faça a ressignificação sobre estes insumos, objetivando a reutilização dos resíduos das atividades minerárias, sejam eles provenientes da lavra ou das usinas de beneficiamento, pois, é um caminho estratégico e necessário para aproveitar o potencial de utilização desses materiais e reduzir a perda de matéria-prima.

Sendo um grande produtor na área de rochas ornamentais, a região do Seridó paraibano não se difere da maioria do país, quando enquadrado como gerador desses insumos. Assim, a concepção desse projeto surgiu da observação dos resíduos gerados pelas serrarias de rochas ornamentais da região (Figura 1), quais estavam causando problemas ambientais devido as atividades de extração e beneficiamento de quartzitos. Esta, avaliada dentre as que mais produzem e eliminam resíduos irregularmente, proveniente, principalmente, da precarização das atividades. Visto também, que o setor da indústria cerâmica na Paraíba é um dos que mais cresce, demandando cada vez mais de matérias-primas, identificou-se a necessidade de estudar o reaproveitamento do resíduo do quartzito na produção de cerâmicas estruturais com o intuito de encontrar melhor utilização e finalidade para tais resíduos, diminuindo assim o impacto ambiental causado.

1.1 O Quartzito na Indústria Cerâmica

A indústria de cerâmica no Brasil determina-se como um setor de alta produção, economia significativa, e grande abrangência territorial. Dados do anuário estatístico de produção de não metálicos do MME (Ministério das Minas e Energia) estimam, em 2013, uma produção de cerca de 190 bilhões de peças cerâmicas no Brasil, gerando um faturamento da ordem de US\$ 10 bilhões anuais. É suposto um setor de cerca de 7.500 indústrias especializadas no ramo de cerâmica e um grande número de unidades produtivas de argilas comuns.

As argilas possuem baixo valor unitário e baixa densidade tecnológica e envolvem grandes volumes de produção. Dessa forma, as cerâmicas são impactadas pelo custo do transporte da matéria prima, cada vez mais a grandes distâncias, condicionando sua instalação o mais próximo possível das jazidas. Assim, sendo a Paraíba, um setor de produção cerâmica, a reutilização dos

resíduos provenientes das serrarias situadas na mesma região é um fator contribuinte no processo, além de proporcionar as empresas mineradoras, a possibilidade de usar os resíduos como subproduto.

Partindo desse pressuposto, objetivando alcançar a melhor aplicação dos resíduos de quartzitos, pesquisas foram direcionadas inicialmente para o levantamento bibliográfico sobre a fabricação de cerâmicas, visto que, conhecer uma argila e seus constituintes é de fundamental importância para o processo de fabricação, pois a presença e a quantidade de cada um dos componentes é o que define as propriedades de cada argila (GRUN, Elayne. 2007).

A cerâmica, em suas variações, é constituída basicamente por uma mistura de argilas, caulim, filito, feldspato e quartzo, mudando apenas em características de percentagem dos componentes, granulometria e adições singulares de outros produtos. Nela, o quartzo representa, em média, cerca de 17% de sua composição. O que para o Brasil significa a demanda de 30,6 Mt por ano, de quartzo, direcionadas à indústria cerâmica. Estes, obtidos em suma maioria de extrações areia e rochas quartzíticas. Ou seja, retirando material direto da natureza. Assim, tal tipo de reutilização conduz também a um método capaz de poupar a retirada de matéria-prima, preservando amplamente o meio ambiente.

2. METODOLOGIA DO ESTUDO

O presente estudo utilizou a captação de amostras em serrarias da região do Seridó – PB, das variedades de quartzito dourado e rosa. Cada amostra com massa de 6 quilogramas (kg). A partir destes, as atividades seguintes foram realizadas no âmbito do laboratório de Cominuição Mineral do Instituto Federal da Paraíba – IFPB, *campus* Campina Grande, sendo um projeto executado por professores e alunos.

Primeiramente, o método utilizado foi o de britagem, realizado em ambos os tipos de quartzito, em britador de mandíbulas Astecma (Figura 2). Após, procedeu-se o processo de homogeneização, quarteamento e pesagem, do material britado, dividindo-os em quatro amostras de 1,5 kg do quartzito de cada coloração.

Por conseguinte foi efetuado ensaios de peneiramento com as amostras quarteadas, em vibrador de peneiras (Figura 4), para encontrar o melhor dimensionamento da etapa de acordo com a coloração do quartzito. Variou-se os parâmetros de frequência de vibração (5 a 9Hz) e

tempo de peneiramento (8 e 10 minutos). O parâmetro obtido para as peneiras foram de #14, #28, #48. Após a análise dos resultados, feita pela pesagem do material retido em cada peneira e fundo cego, encontrou-se para ambos os quartzitos, o tempo de 10min com frequência de 6Hz (Tabelas 1 e 2).

3. FIGURAS



Figura 1 – Resíduos provenientes da extração do quartzito na região do Seridó - PB (acervo pessoal)



Figura 2 – Britagem das amostras em britador de mandíbulas Astecma (acervo pessoal)

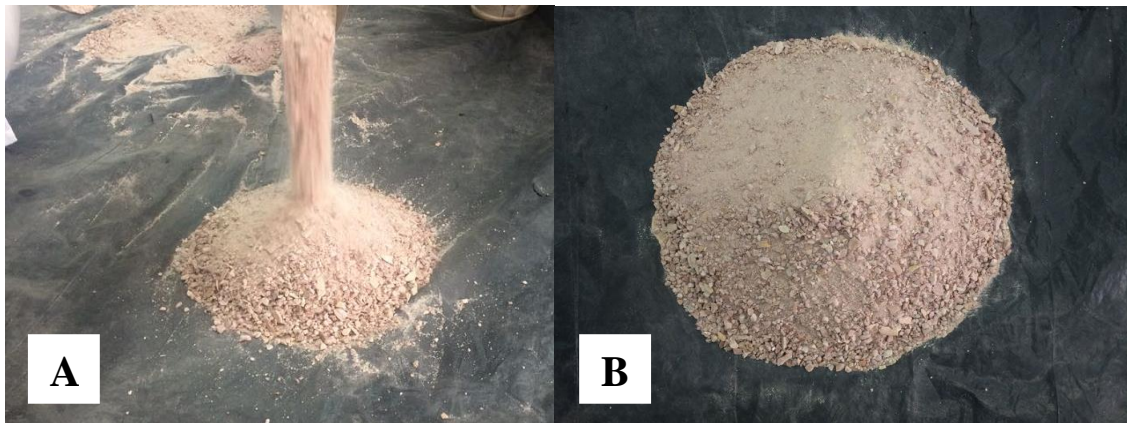


Figura 3 – Material britado: (A) Homogeneização; (B) quarteamento (arcevo pessoal)



Figura 4 – Vibrador de peneiras eletromagnético com: 3 peneiras (#14, #28, #48) mais fundo cego. (Acervo pessoal)

4. TABELAS

Tabela 1. Análise de peneiramento de amostras quartzito rosa (1,5 kg) (SILVA, Anne. 2015)

Tempo (min)	Frequência (Hz)	#14	#28	#48	-48
10	5	689g	269g	271g	271g
10	6	548g	283g	325g	343g
8	9	673g	274g	278g	273g
8	8	577g	296g	313g	312g

Tabela 2. Análise de peneiramento de amostras quartzito dourado (1,5 kg) (SILVA, Anne. 2015)

Tempo (min)	Frequência (Hz)	#14	#28	#48	-48
10	5	460g	324g	358g	355g
10	6	414g	332g	381g	372g
8	9	474g	331g	348g	346g
8	8	432g	329g	366g	369g

5. CONCLUSÕES

Os resultados são preliminares e corresponderam aos objetivos esperados da etapa qual a pesquisa situa-se, pois esta encontra-se na fase final primária de beneficiamento de tais resíduos. O material obtido, até então classifica-se como areia quartzítica, com granulometrias entre #14 a #48, já com capacidade de aplicabilidade na produção de cerâmicas, como substituto da areia comum.

Planeja-se executar no material obtido após os processos realizados (britagem e peneiramento), ensaios de moabilidade, para avaliação da interferência do processo no mineral, em relação a qualidade da cerâmica obtida. Tal análise, feita a partir de testes e comparações entre a aplicação do quartzito com e sem o processo moagem dos mesmos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Branquinho, C.L.S. (Ed.), CETEM 35 Anos : Criatividade e Inovação, Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro, 320 p.: il, fevereiro/2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (SGM). Anuário estatístico do setor de transformação de não metálicos. Brasília, 2014. 31 p.

Grun, Elyane. Caracterização de argilas provenientes de Canelinha/Sc e estudo de formulações de massas cerâmicas, Santa Catarina, UDESC, junho/2007.

Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento/Eds. Francisco W.H. Vidal, Hélio C.A. Azevedo, Nuria F. Castro – Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013.

TÉCNICAS PARA OBTENÇÃO DE PARALELEPÍEDOS E MEIOS FIOS NA PEDREIRA MARI PRETO, MUNICÍPIO DE PICUÍ-PB

Francisco De Assis Souza¹, Ana Karla L. da Silva², Paulo Sales S. Barros³

¹ Geólogo MSC, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-IFPB, Av. Tranquilino Coelho Lemos, 671, bairro Dinamérica, 58.432-300, Campina Grande-PB. Email: francisco.souza@ifpb.edu.br

² Técnico em Mineração, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-IFPB. Acesso rodovia PB 151, s/n, bairro Cenecista, Picuí-PB

³ Estudante dos cursos de Mineração e Geologia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-IFPB. Acesso rodovia PB 151, s/n, bairro Cenecista, Picuí-PB

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo mostrar as técnicas para obtenção de paralelepípedos e meios fios na Pedreira Mari Preto, município de Picuí, estado da Paraíba, utilizados na pavimentação de ruas e avenidas. A atuação do intemperismo geológico nas rochas granitoides gerou matacões, facilitando a lavra a céu aberto. O desmonte da rocha é feito pelos próprios mineradores, sem a orientação de um blaster para a realização do plano de fogo. O processo de divisão e esquadrejamento é feito de acordo com a morfologia da rocha, distinguindo os pontos de partição para que ocorra a divisão dos blocos maiores, os quais serão transformados em meios fios e paralelepípedos. A produção é pequena, sendo comercializada pela cooperativa local. A geração de rejeito pode ser considerada baixa, uma vez que praticamente 90% dos matacões têm um aproveitamento satisfatório na obtenção do produto final. A não obediência das normas de segurança no trabalho e o não planejamento da lavra faz com que os pequenos mineradores estejam constantemente sujeitos a sérios riscos de acidentes e provoquem impactos ambientais relevantes à área minerada.

PALAVRAS-CHAVE: Pedreira Mari Preto, paralelepípedos e meios fios, impactos ambientais.

ABSTRACT

The study aims to present the techniques for obtaining cobblestones and wires in the Mari Preto Quarry, town of Picuí, State of Paraíba, used in the paving of streets and avenues. The geological weathering in granitoid rocks generated "*matacões*" making it easy to open-pit mining. The

dismantle of rock is built by the miners themselves, without the guidance of a blaster for the realization of the fire plan. The process of division and square shoulder milling is done according to the morphology of the rock, distinguishing the partition points for the division of the larger blocks, which will be transformed means wires and cobblestones. The production is small, being marketed by the local cooperative. Waste generation can be considered low, once virtually 90% of “*matacões*” have a satisfactorily in obtaining the final product. The failure of safety standards at work and not planning of mining causes the small miners are constantly subject to serious accident risks and cause environmental impacts relevant to the mined area.

KEYWORDS: Mari Preto Quarry, paving stones and wires means, environmental impacts.

1. INTRODUÇÃO

O município de Picuí situa-se na porção norte do estado da Paraíba, microrregião Seridó Oriental (figura 1), caracterizado pelo clima semiárido, geomorfologia diversificada e vegetação pertencente predominantemente ao bioma caatinga. Sua inserção na Província Borborema de Almeida (1977), o torna pólo de produção e comercialização mineral da região limítrofe entre a Paraíba e Rio Grande do Norte. A atividade garimpeira em pegmatitos intrusivos em xistos eleva a região em tela ao patamar de grande produtora de feldspato, quartzo e muscovita como minerais industriais, tantalita para a indústria eletroeletrônica, berilo, turmalina e água marinha de qualidade gemológica. Não obstante, os argilominerais para a produção de cerâmica vermelha, os calcários dolomíticos para corretivos de solos e granitoides para rochas ornamentais. A cadeia mineral produtiva é completada com a exploração de granitos para a produção de paralelepípedos e meios-fios destinados à pavimentação de ruas e avenidas e britas para a construção civil. A Pedreira do Mari Preto, na qual a pesquisa foi desenvolvida, consta de várias frentes de lavra a céu aberto em matacões. Foram diagnosticados os processos de divisão e esquadrejamento dos blocos utilizando ferramentas rudimentares, explosivos e acessórios, a comercialização e transporte dos produtos finais. O trabalho aborda também os impactos ambientais gerados pela extração do granito lavrado a céu aberto, pois apesar de constituir uma importante atividade econômica para o município, causa relevantes prejuízos ao meio ambiente, por ser executada de forma desordenada e predatória, sem nenhum planejamento.



Fig.1. Localização do município de Picuí e da Pedreira Mari Preto em relação ao Estado da Paraíba e às Microrregiões Seridó e Curimataú (Fonte: Souza e Lima Sobrinho, 2012)..

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A exploração dos granitos em forma de matacões é hoje a principal fonte de renda dos pequenos mineradores que permanecem na comunidade rural Mari Preto durante os períodos de estiagem enfrentada pelo município de Picuí, pois a extração e comercialização da rocha garantem a sustentabilidade de suas famílias. Apesar dessa atividade ser realizada há mais de 20 anos, sendo explorada sem planejamento de pesquisa mineral, empregando ferramentas rudimentares, a região ainda apresenta uma significativa reserva mineral potencialmente lavrável. Visitas de campo diagnosticaram que mesmo com a vasta experiência dos mineradores, a atividade realizada no local do estudo necessita de um planejamento na sua exploração, com implantação de

ferramentas mecanizadas como, por exemplo, martelletes pneumáticos e o auxílio de compressores para que seu funcionamento possibilite o aumento da produtividade e a diminuição da perda de tempo nas frentes de lavra. A perfuração dos furos é feita manualmente, levando cerca de uma ou duas horas por furo, onde os mineradores fazem o revezamento nas batidas com a marreta. A profundidade dos furos normalmente mede acima de um metro e varia conforme o tamanho do matacão. No processo da forja é utilizado o fogo com carvão vegetal e um equipamento de sopro para aquecer a ferramenta, que será moldada com uma marreta, até que fique afiada e pontiaguda.

As principais ferramentas utilizadas na obtenção dos blocos, cujos nomes são dados pelos próprios mineradores são:

- Aço de emborco - ferramenta pontiaguda utilizada para perfurar a rocha;
- Ponteiro - ferramenta utilizada no processo de esquadrejamento dos blocos;
- Raia - ferramenta com a ponta quadrada que dá a direção do corte da rocha;
- Cunha - ferramenta usada na partição da rocha;
- Marreta - ferramenta de impacto;
- Marrão - ferramenta pesada usada para fazer impacto;
- Machada - ferramenta que tem dois gumes no corte;
- Lavanca - ferramenta alongada usada como apoio ou braço de força.

A lavra dos matacões na pedreira Mari Preto, assim como toda exploração mineral nos garimpos do município de Picuí, é realizada a céu aberto, por meio de bancadas curtas (figura 2), levando em conta vários fatores que possam facilitar a produção no final do dia: proximidade entre si dos matacões, facilidade de acesso, textura da rocha. São efetuados dois furos, sendo que o primeiro é vertical, no meio do plano de partição, o qual limita a retirada do bloco, e o segundo furo é na horizontal, também chamado de furo de levante. Para fazer os furos raiados é introduzida a raia, ferramenta que dá a direção desejada para a ruptura da rocha para a retirada dos blocos. O processo também pode ser denominado de raição. Os furos são carregados com pólvora negra e o estopim para posterior detonação. As operações como o manuseio e a execução do plano de fogo devem ser executados por um técnico responsável (blaster), no entanto, foi observado na pedreira Mari Preto, que o responsável pelo manuseio dos explosivos e acessórios é um minerador com mais experiência e prática nessa área.



Fig. 2 Lavra de matacão por meio de bancada curta.

Como carregamento do furo é executado sem um plano de fogo elaborado, não se trabalha com números ou formas exatas, a quantidade de explosivo variando com o tamanho do matacão e de acordo com a profundidade do furo. O processo é executado em quatro etapas (figuras 3 e 4):

- Carregamento com explosivo - pólvora negra, com socador de madeira, plástico ou cobre;
- Introdução do acessório – estopim, fazendo contato com a pólvora;
- Finalização com o tampão - que pode ser material inerte, areia ou mesmo o pó da rocha, abafando e dando pressão ao fogo;
- Detonação – estopim aceso, queimando até que ocorra a detonação, fazendo a divisão dos blocos.



Fig. 3. Carregamento do furo com explosivo, de forma manual.



Fig. 4. Acendimento do estopim e divisão do bloco após explosão.

Após a detonação ocorre o processo de divisão e esquadrejamento dos blocos. Nesse primeiro processo leva-se em conta mais uma vez a vasta experiência dos mineradores, onde eles observam a morfologia da rocha, distinguindo assim os pontos de partição para que ocorra a divisão dos blocos maiores, os quais serão transformados em paralelepípedos (figura 5). Nesse processo é necessária a medição dos blocos para extração, como é realizada em forma de bancada facilita a retirada do material extraído. A primeira bancada mede 1,20 m de comprimento por 0,60 m de altura, sendo o bloco dividido em dois “*tórios*” (figura 6), que mede 60 cm de comprimento por 60 cm altura. O “*tório*” é esquadrejado e dividido em três “*lapões*”.



Fig. 5. Processo de divisão dos blocos de granito.

Nessa etapa, o “*lapão*” (figura 6), bloco de 60 cm de comprimento por 20 cm de altura, é dividido em duas “*moretas*”, bloco que tem 30 cm de comprimento por 20 cm de altura. Então ela é esquadrejada em duas folhas (Fig.7). A folha é dividida em quatro blocos com 15 cm de comprimento por 10 cm de altura, dando origem ao paralelepípedo (figura 8). Os mineradores

também produzem o meio fio usado para a pavimentação de ruas), realizando o mesmo processo de divisão dos matacões, sendo que no esquadrejamento, o “tório” é dividido em três “*telastes*”, que são blocos de 60 cm de comprimento por 60 cm de altura, os quais são divididos em duas pedras de meio fio com 60 cm de comprimento por 30 cm de altura. Os nomes citados no texto, como “tório, lapão, moreta e folha” fazem parte do dia a dia dos mineradores, os quais têm uma linguagem própria de garimpeiro.



Fig. 6. Processo de divisão do tório para esquadrejamento.



Fig. 7. Processo de divisão do lapão em duas moretas.



Fig. 8. Processo de divisão das folhas em paralelepípedos.

3. REJEITO PRODUZIDO PELA LAVRA DOS MATAÇÕES

Entende-se por rejeito, o material retirado durante a extração de um minério, não aproveitável, sem valor econômico. Como a lavra na Pedreira Mari Preto é a céu aberto e toda produção é destinada à pavimentação de ruas e avenidas, além da fabricação, não há grandes perdas de material, gerando apenas cerca de 10% de rejeito da fabricação dos paralelepípedos e meios fios. Todavia esse rejeito é descartado de forma aleatória, causando impactos ambientais visuais. A Cooperativa dos Pequenos Mineradores do Município de Picuí - COOPICUÍ planeja desenvolver projetos visando instalar uma usina de britagem para aproveitamento desses rejeitos a construção civil.

4. SEGURANÇA E HIGIENE NO TRABALHO

A higiene e segurança no trabalho têm como objetivo a redução das perdas decorrentes dos acidentes de trabalho. Segundo Matos (1998) ela é responsável pela preservação da saúde do trabalhador através de um programa de prevenção de acidentes e enfermidades ocupacionais, melhorando a qualidade de vida e de trabalho do mesmo. A atividade de extração mineral na Pedreira Mari Preto é realizada de forma a colocar a vida dos trabalhadores em risco, que lutam todos os dias para sustentar suas famílias numa atividade realizada há décadas, muitas vezes na clandestinidade. O que foi observado no local do estudo é que infelizmente no quesito segurança do trabalho os mineradores desconhecem totalmente as Normas Regulamentadoras NR 6 e NR 22, pelo fato de não adotarem o uso de EPIs, colocando suas vidas (fig. 9) tornando-se potencialmente

sujeitos aos fatores de risco, além de adquirir patologias, como por exemplo, a pneumoconiose, bastante comum na região.



Fig. 9. Minerador trabalhado sem uso de EPIs e alojamento inadequado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atividade de extração mineral na pedreira Mari Preto é realizada em matacões, de maneira informal, onde os mineradores exploram as jazidas sem planejamento, provocando impactos negativos ao meio ambiente. O trabalho dos mineradores é desenvolvido de forma manual, com equipamentos rústicos, sem inovação tecnológica, que aliadas ao barateamento de mão de obra resultam em baixa produtividade e grande perda de tempo na obtenção dos paralelepípedos e meios fios. As atividades nas frentes de lavras são executadas sem os equipamentos de proteção individual – EPI's e sem condições mínimas de segurança e higiene no trabalho, deixando os mineradores expostos a acidentes e ao desenvolvimento de doenças ocupacionais. Os mineradores devem ser conscientizados quanto a contratação de mão de obra especializada para realização dos planos de fogo, ao trabalho cooperativado, acesso a inovações tecnológicas e a uma cultura de preservação ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. de. Evolução da Plataforma Brasileira. Rio de Janeiro: **DGM**, 36 p. (1967).
- MATOS, R. Introdução à higiene e segurança do trabalho. Recife: Ed. **Escola Técnica Federal de Pernambuco** (1998).
- MT. Norma Regulamentadora, NR 22 - Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração (1978).
- MT. Norma Regulamentadora, NR 6 – Equipamentos de Segurança do Trabalho. 2010.
- SOUZA, F.A, LIMA SOBRINHO, A.P.L. Problemas sócio ambientais causados por lixão mineral no município de Picuí-PB. Segundo ENECO-PB. **Anais**. Rio Tinto (2012).

IX SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE

10 a 13 abril de 2016, João Pessoa - PB

INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE PEDRA-SABÃO UTILIZADOS COMO ADSORVENTES DE ÓLEO VEGETAL EM MATERIAL CERÂMICO

*Luana Ferreira de Carvalho ¹, Leonardo Oliveira Brasil ², Heloísa Neves de Souza ³,
Érica Linhares Reis ⁴, Rosa Malena Fernandes Lima ⁵*

^{1,2} Graduando em Engenharia de Minas, Escola de Minas/ UFOP

³ Mestranda, Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral/ DEMIN/ Escola de Minas/ UFOP

⁴ Dra., Professora, DEMIN/ Escola de Minas/ UFOP

⁵ Dra., Professora, DEMIN/ Escola de Minas/ UFOP

carvalho.luanaf@gmail.com

RESUMO

No Brasil existem vários problemas ambientais em relação a grande geração de resíduos do setor de mineração. Como exemplo podem ser citados os processos de extração e beneficiamento de rochas ornamentais. Logo, o desenvolvimento de novas técnicas de reciclagem e reutilização de resíduos do setor, seria de grande utilidade para minimização dos impactos gerados por essas atividades. Este trabalho tem como objetivo incorporar resíduos de pedra-sabão de oficinas de artesanato como matéria prima na fabricação de corpos de prova cerâmicos. Os corpos de prova foram preparados somente com a massa argilosa (S), com substituição de 15% da massa de solo por finos de pedra-sabão (SP) e finos de pedra sabão anteriormente utilizados como adsorventes de um óleo vegetal (SPO) (1,50g/g de fino de pedra sabão). Foram produzidos corpos de prova compactados com 21MPa, temperatura de queima de 1000°C por 180 min. Para cada mistura, foram medidas as propriedades de retração de secagem (RLS), retração linear de queima (RLQ), densidade aparente após a queima DA_{queima} , resistência a compressão simples (RCS), absorção de água e cor de queima. A diferença entre os valores de retração linear de secagem e de queima nas diferentes composições foi insignificante. Não ocorreu variação de cor para as diferentes composições, prevalecendo coloração avermelhada. Os valores de resistência à compressão e absorção de água foram: 50,9MPa e 27% para os corpos de prova moldados com S, de 65,4MPa e 24% para os corpos de prova com substituição por SP e de 67MPa e 25% para os corpos de prova

com substituição por SPO. Todos os parâmetros analisados parecem estar dentro das especificações para produção de alguns tipos de materiais cerâmicos estruturantes.

PALAVRAS-CHAVE: pedra-sabão, cerâmica, aproveitamento de rejeitos.

ABSTRACT

There are various environmental problems in Brazil when it comes to waste generation on the mining sector. For instance, one may cite the extraction and ornamental rocks improvement processes. Therefore the development of new recycling techniques and waste reuse on the sector would be of great usefulness to minimize the impacts created by those activities. The waste incorporation of soap stone on the creation of handicraft as prime matter on the creation of ceramic proof bodies are the goal of this study. The compositions were prepared only as clayey mass (S) and with the substitution of 15% of the soil mass by fine grains of soap stone (SP) and fines grains of soap stone previously used as absorbents of a vegetal oil (SPO) (1.50g/g of fine grains of soap stone). Compacted proof bodies were produced with 21MPa, firing temperature of 1000°C for 180 minutes. For each mixture, dryness retraction proprieties (RLS), linear retraction of burning (RLQ), apparent density after the burning (DA_{burning}), simple compression resistance (RCS), water absorption and burning colour were measured. The difference between the dryness linear retraction and the burning one on the different compositions was insignificant. There was no variation of colour for the different compositions, with the reddish colour prevailing. The resistance to compression and water absorption values were 50.9MPa and 27% for the proof bodies molded with S; 65.4 MPa and 24% for the proof bodies with substitution for SP; and 67MPa and 25% for SPO. All assessed parameters seem to be in accordance with the specifications for the production of some kinds of structural ceramic materials.

KEYWORDS: soap stone, ceramic, waste employment

1. INTRODUÇÃO

Na região de Ouro Preto encontram-se grandes depósitos de esteatito (pedra-sabão), cujo talco é o principal constituinte mineralógico com proporção maior que 35% (Pinheiro, 1973). Na região existem várias oficinas de artesanatos de pedra-sabão, que utilizam as rochas de pior qualidade (Ferreira, 2013).

Em relação às rochas para fins ornamentais, é grande a preocupação com o elevado desperdício do setor, que pode chegar a 70%, em massa, do total utilizado para a fabricação das peças. Deste modo, estudar o aproveitamento de rejeitos da mineração, visando a obtenção de subprodutos de valor econômico e matéria prima para diferentes setores industriais é de suma importância.

Alguns resíduos vem sem incorporados à argila, experimentalmente, na produção de produtos cerâmicos. Esse processo, além de evitar o desperdício, proporciona uma utilização mais nobre e diminui o impacto ambiental causado pela destinação final inadequada desses materiais (Mori *et al.*, 2011). A adição de resíduos em substituição de frações de massa argilosa também pode proporcionar a economia de matéria prima e, conseqüentemente, prolongar o tempo útil deste recurso.

Ferreira (2013) incorporou finos da produção de artesanatos de pedra-sabão em tijolos solo-cal, substituindo parte do aglomerante, uma vez que os resíduos utilizados possuem características pozolânicas. Os resultados obtidos mostraram que os corpos de prova solo-cal com 25% de incorporação de finos de pedra-sabão com tempo de cura de 28 a 60 dias apresentaram valores dos parâmetros analisado favoráveis para esta incorporação.

Na fabricação de cerâmicas silicatos de magnésio hidratados como o talco costumam ser utilizados como ingredientes refratários (Shreve e Brink, 1977).

Segundo Shreve e Brink (1977) a indústria de cerâmica considera os seguintes tipos de produtos: cerâmicas, produtos estruturais de argila, refratários, produtos cerâmicos especiais e esmaltes e metais esmaltados.

Souza (2014) iniciou um trabalho de utilização de finos de pedra-sabão na adsorção de óleos vegetais em diferentes sistemas (óleo e óleo-água) e vem pensando em quais seriam as alternativas para o aproveitamento destes resíduos, produtos da adsorção formados.

Este trabalho teve como objetivo incorporar finos de pedra-sabão e finos de pedra-sabão utilizados na adsorção de óleos vegetais em corpos de prova e analisar as características obtidas em escala de laboratório para a composição de materiais cerâmicos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os resíduos de finos de pedra-sabão que foram utilizados neste trabalho são provenientes de oficinas de artesanato em pedra-sabão de distritos do município de Ouro Preto – MG, previamente caracterizado por Rodrigues (2010). O solo argiloso utilizado também é de um distrito de Ouro Preto – MG e foi caracterizado por Ferreira (2013).

Após obtenção dos corpos de prova, conforme procedimento descrito na Fig. 2 foram realizadas as medidas de retração linear de secagem e os ensaios de absorção de água conforme a norma ABNT/NBR 15270-3/05. A retração linear de queima, massa específica aparente e cor de queima foram determinadas pelo procedimento descrito na norma ABNT/NBR 6220-89.

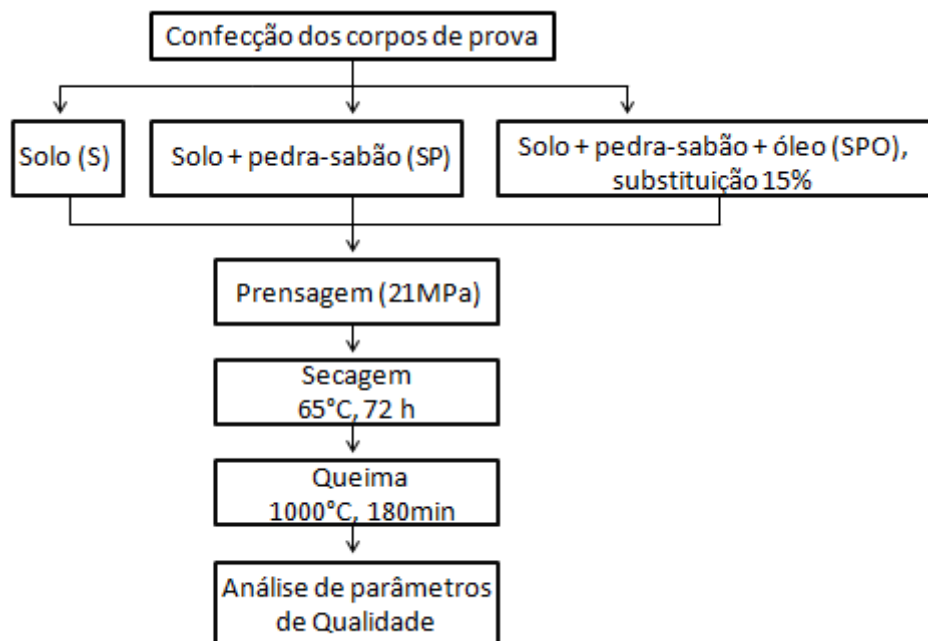


Figura 1 – Fluxograma da confecção dos corpos de prova cerâmicos

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A perda de massa por secagem (PMS) nos corpos de prova S e SPO ficaram em torno de 9%, enquanto que nos corpos SP ficaram em torno de 6%. Os corpos de prova com maior

porcentagem em massa de solo apresentam maior quantidade de água que será liberada durante a secagem. Ao final da secagem, os corpos de prova não apresentaram valor de umidade superior a 2,0%. Os valores de retração foram negativos, indicando pequena expansão.

Não houve grande variação de RLQ entre os corpos de prova S e SPO. A perda de massa por queima (PMQ) foi maior no SPO (21,24%) quando comparado ao S (18,92%). O menor valor de perda de massa por queima foi obtido para a composição SP (15,63%).

Os valores de resistência a compressão simples (RCS) foram maiores para os corpos de prova com substituições, sendo os valores superiores a 65MPa para SP e SPO. Para S o valor de RCS ficou em torno de 51Mpa.

Não ocorreu variação significativa da densidade aparente (DA) da etapa de secagem para queima. Os valores de absorção de água (AA) foram altos, acima do que consta na norma ABNT/NBR 15270-3/05 (máximo de 22%), contudo, segundo Santos (1989) as composições S e SP talvez pudessem ser utilizadas para fabricação de tijolos de alvenaria e a composição SPO poderia ser utilizada para tijolo maciço e para tijolo furado ($\leq 25\%$ AA).

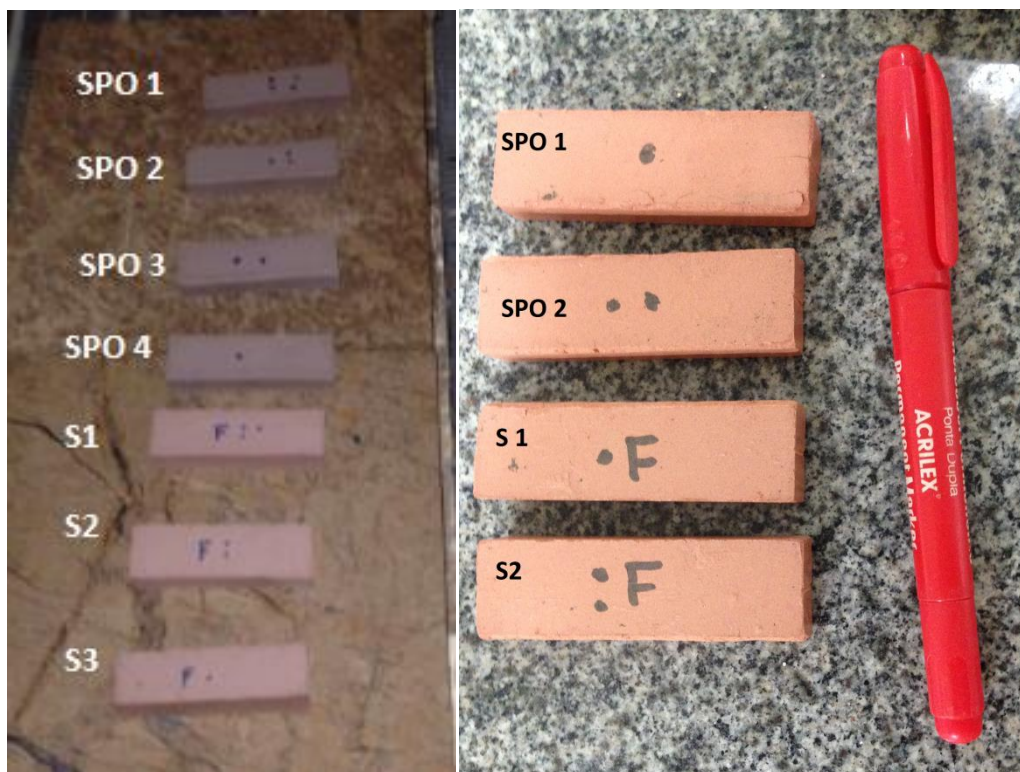


Figura 2 - Corpos de prova antes (1) e após a queima (2). Dimensões estimadas dos corpos de prova:

7x2x1mm

Tabela 1. Valores de retração, perdas de massa e resistência a compressão simples.

Corpo de Prova	RLS (%)	RLQ (%)	PMS (%)	PMQ (%)	RCS
S	-0,12	2,96	8,98	18,92	50,9
SP	-0,35	2,82	6,17	15,63	65,4
SPO	-0,37	2,82	9,41	21,24	67,0

Tabela 2. Valores de densidades aparentes e absorção de água.

Corpo de Prova	DA _{secagem} (g/cm ³)	DA _{queima} (g/cm ³)	Absorção de água (%)
S	1,58	1,57	27,03
SP	1,64	1,38	27,00
SPO	1,61	1,55	24,54

4. CONCLUSÕES

Parece viável a confecção de material cerâmico utilizando a mistura solo/fino de pedrasabão com óleo vegetal adsorvido, uma vez que, os valores dos parâmetros analisados para as diferentes composições se mostraram muito próximos e a adição de resíduos em substituição de frações da massa argilosa pode proporcionar a economia de matéria-prima. Ainda estão sendo estudadas outras condições.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UFOP, ao Departamento de Engenharia de Minas e a Fundação Gorceix

6. NOMENCLATURA

AA (%) – Absorção de água pelo corpo de prova.

DA_{queima} (g/cm³) – Densidade aparente após a queima.

DA_{secagem} (g/cm³) – Densidade aparente após a secagem.

PMQ – Perda de massa por queima.

PMS – Perda de massa por secagem.

RCS – Resistência a compressão simples.

RLQ – Retração linear de queima.

RLS – Retração linear de secagem.

S – Corpo de prova confeccionado com solo.

SP – Corpo de prova confeccionado com solo e fino de pedra-sabão.

SPO – Corpo de prova confeccionado com solo, fino de pedra-sabão e óleo vegetal adsorvido.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, Rio de Janeiro. NBR 6220 – Material refratário denso – determinação da massa específica aparente, porosidade aparente, absorção e massa específica da parte sólida. Rio de Janeiro, 1989.

_____, NBR 15270-3: parte 3: blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

FERREIRA, W. L. (2013). ADIÇÃO DE RESÍDUOS DO SETOR MÍNERO METALÚRGICO NA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS SOLO-CAL. 65p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

MORI, F. A.; COVEZZI, M.M.; MORI, C. L. S. O (2011). UTILIZAÇÃO DA SERRAGEM DE *Eucalyptus spp.* PARA A PRODUÇÃO DE TIJOLO MACIÇO CERÂMICO. Revista FLORESTA, v. 41, n. 3, p. 641-654, Curitiba, Paraná.

RODRIGUES, M. L. M. (2010). CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE RESÍDUOS DE OFICINAS DE ARTESANATO DE PEDRA-SABÃO DA REGIÃO DE OURO PRETO. 137p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

SANTOS, P.S. (1989). ARGILAS PLÁSTICAS PARA CERÂMICA VERMELHA OU ESTRUTURAL. In: Ciência e Tecnologia de Argilas, 2ª Edição revisada e ampliada, v,1, Cap 17, Editora Edgard Blucher Ltda.

SHREVE, N. R.; BRINK, J. A. Jr (1977). Indústrias de Processos Químicos. Quarta Edição, Rio de Janeiro: Editora Guanabara.

SOUZA, H. N. (2014). ADSORÇÃO DE ÓLEOS EM RESÍDUO DE PEDRA-SABÃO. 3p. Projeto de Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

RELEVÂNCIA DA AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE PARA O SETOR DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Thalissa Pizetta Altoé ¹, *Millena Basílio da Silva* ², *Luciana Marelli Mofati* ³

¹Engenheira de Minas, CETEM/MCTI

²Técnica em Construção Civil e em Mineração, CETEM/MCTI

³Mestre em Tecnologia e Geógrafa, CETEM/MCTI

taltoa@cetem.gov.br

RESUMO

Avaliação da Conformidade é a demonstração de que os requisitos especificados relativos a um produto, processo, sistema, pessoa ou organismo são atendidos. Na atual realidade brasileira os mecanismos de avaliação da conformidade utilizados são, em sua maioria, de caráter compulsório, sendo mínima a adoção de mecanismos voluntários, aplicados pelas empresas. O Brasil nos últimos anos tem apresentado significativa melhora na qualidade operacional de seus parques industriais, apesar de ainda inexpressiva a importância de desenvolver um produto final certificado. Na cadeia produtiva de rochas ornamentais, beneficiamento primário (desdobramento) e secundário (polimento), há falta de tratamento sistêmico na cadeia produtiva, há falta de regras pré-estabelecidas para obtenção do produto final, existe a necessidade de criar mecanismos de acompanhamento da produção e de avaliação dos resultados obtidos. Dessa forma, aplicar as ferramentas da avaliação da conformidade no setor de rochas ornamentais, auxiliará o aumento da competitividade e confiabilidade de seus produtos, processos e serviços. Em contrapartida, a indústria de cerâmica, principal concorrente comercial, está a frente quanto a padronização, especificação e garantia da qualidade de seus produtos. A especificação técnica prevê o desempenho do material perante solicitações no processo produtivo, reduz perdas na produção e a melhor empregabilidade do produto. As características tecnológicas, assim como a previsão do seu desempenho em serviço, são obtidas mediante análises e ensaios, executados segundo procedimentos rigorosos, estabelecidos, no Brasil, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. A importância de ensaios com o selo da acreditação garante a confiabilidade dos resultados emitidos, além de formalizar sua competência técnica, servindo como base para a busca pela certificação e rotulagem do produto.

PALAVRAS-CHAVE: rocha ornamental, avaliação da conformidade, acreditação.

ABSTRACT

Conformity assessment demonstrates that specified requirements relating to products, processes, systems, persons or organizations are attended. In Brazil the conformity assessment mechanisms used are mostly compulsory and the adoption of voluntary mechanisms, applied by companies are minimum. Nowadays, Brazil has shown significant improvement in the operational quality of its industrial parks, though been still insignificant the importance of developing a final product certificate. In the production chain of ornamental rocks, primary processing (split) and secondary (polishing), there is a lack of systemic treatment and of pre-established rules for the final product. Also, there are no mechanisms for monitoring the production and evaluate the results. The application of conformity assessment tools in the ornamental stone sector will help to increase the competitiveness and reliability of its products, processes and services, as actually occurs in the ceramic industry with achieved standardization, specification and quality assurance of their products. Technical specification (standardization) provides the performance of the material before it been requested in the production process, reduces losses in production and improves the employability of the product. The technological characteristics of the product, as well as the prediction of their performance in service, are obtained by analysis and tests standards, witch are made with the support of the Brazilian Association of Technical Standards - ABNT. The importance of testing with accreditation normative ensures the reliability of the results, serving as a basis for certification and product labeling.

1. INTRODUÇÃO

A Cartilha produzida pela Diretoria da Qualidade do INMETRO intitulada “Avaliação da Conformidade”, além de explicitar os conceitos do instrumento, aborda o seu papel estratégico, afirmando que o desenvolvimento tecnológico é fruto do conhecimento científico e da capacidade tecnológica e industrial, o que significa que se não houver competência científica e capacidade tecnológica e industrial, ainda que exista capital, mão-de-obra e matérias-primas, não haverá competitividade. Neste contexto, a avaliação da conformidade, ou “*exame sistemático do grau de atendimento por parte de um produto, processo ou serviço a requisitos especificados*” é uma questão técnica que é estratégica para o comércio, seja para a ampliação do mercado, seja para aumentar a competitividade, seja para eliminar obstáculos desnecessários ao comércio.

Na empresa, a avaliação da conformidade se materializa na busca contínua pela qualidade de seus produtos, processos ou serviços. E este não é um processo que possa ser postergado, uma

vez que o Estado regulador, em caráter compulsório, também se utiliza dela como um instrumento para a proteção à saúde e segurança do consumidor e ao meio ambiente.

Se observarmos a cadeia produtiva de rochas ornamentais (Figura 1), veremos que na atual realidade brasileira os mecanismos de avaliação da conformidade utilizados são, em sua maioria, de caráter compulsório, ou seja, aplicados pelo Estado regulador, sendo mínima a adoção de mecanismos voluntários, aplicados pelas empresas, para aumentar a competitividade de seus produtos, processos e serviços.

Esse caráter compulsório ocorre também pela falta de uma política voltada para a orientação do empresário - principalmente para os de pequeno e médio porte - sobre a importância das legislações, seja de âmbito ambiental, mineral ou de segurança do trabalho e da atuação direta de um profissional que oriente e participe ativamente do dia a dia da empresa, que contribua para a busca pela melhoria contínua.

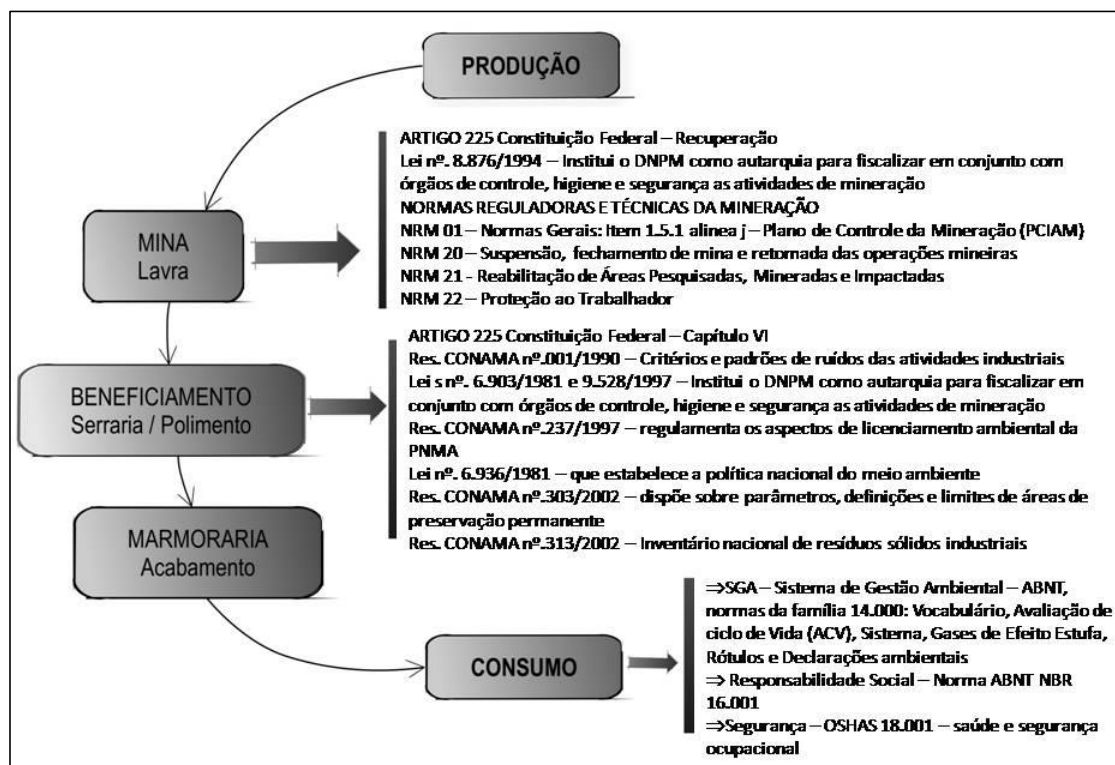


Figura 1 - O atendimento à legislação e a adoção de práticas responsáveis e práticas ambientais.

Adaptado de: Mofati, et al. 2012.

Para a melhor empregabilidade da rocha, seja na parte estrutural ou como revestimento, torna-se indispensável o conhecimento das suas características tecnológicas, ou seja, a avaliação de seu comportamento nas edificações, onde a rocha é submetida a solicitações mecânicas e à ação de agentes externos (físicos, químicos e biológicos) que podem comprometer seu desempenho, durabilidade e a segurança das pessoas. As características tecnológicas das rochas,

assim como a previsão do seu desempenho em serviço, são obtidas mediante análises e ensaios, executados segundo procedimentos rigorosos, estabelecidos, no Brasil, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

A caracterização tecnológica das rochas ornamentais é realizada em grande maioria apenas como cumprimento de exigência por parte do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) na fase de pesquisa do empreendimento mineiro. No Brasil essa cultura está começando a ser modificada com as empresas que exportam sua produção, essas encontram como barreira a especificação do material. A exemplo, nos países europeus a caracterização tecnológica de rochas ornamentais é um requisito para a aplicação na construção civil. Em contrapartida, a cerâmica que concorre no mercado com as rochas ornamentais está a frente quanto a padronização, especificação e garantia da qualidade de seus produtos.

A especificação técnica do produto é fundamental no planejamento e aprovação da obra, especialmente quando esta for efetuada para o mercado de construções sustentáveis. Como já é sabido, as rochas ornamentais, apesar de serem fontes não renováveis, garantem a reflexão solar, reduzem os efeitos de ilha de calor, otimizam a performance energética e atendem a outras categorias de incrementos ambientais nas construções, sendo amplamente utilizadas em certificações ambientais ao redor do mundo, em especial na certificação LEED®. Mas o Brasil, apesar de ser o 7º produtor de rochas ornamentais e o 4º país no ranking de construções com certificação LEED, possui o uso de rochas ornamentais nesse tipo de edificação restrito a materiais reciclados de pedreiras, a exemplo de argamassa e outros produtos.

Objetivando melhorar a competitividade e confiabilidade na qualidade dos produtos de rochas ornamentais, programas de avaliação da conformidade para o setor vêm a promover a expansão e consolidação de sua participação no mercado interno e externo, inicialmente através da acreditação de ensaios de caracterização de rochas ornamentais e num futuro próximo buscando a certificação do produto para as diversas tipologias de uso.

Nesse contexto o Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, desde 2011, vem trabalhando para a acreditação dos ensaios do Laboratório de Rochas Ornamentais (LABRO), localizado em seu núcleo regional de Cachoeiro de Itapemirim/ES. A acreditação, segundo os preceitos da Norma NBR ISO/IEC 17025, atesta o reconhecimento formal da competência do Laboratório para a realização de ensaios e/ou calibrações específicas. O selo da acreditação garante aos laboratórios a confiabilidade dos resultados emitidos por seus ensaios além de formalizar sua competência técnica. A acreditação laboratorial é dividida em três fases que englobam a implementação do

sistema de gestão da qualidade, etapas de avaliação e a manutenção da competência (caso seja concedido ao laboratório o selo da acreditação). O LABRO com o Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) implementado, se encontra hoje na segunda etapa da acreditação e já tem influenciado na procura das empresas em ensaios de maior confiabilidade.

2. DA NORMALIZAÇÃO À ACREDITAÇÃO: O PROJETO ABNT ROCHAS

O CETEM iniciou esforços para aumentar a confiabilidade metrológica de seus ensaios por meio de um projeto de pesquisa encomendado à Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP e efetuado em parceria com outras Instituições (IRD, INMETRO e ABNT), que visava, dentre outros, ao apoio à Normalização e Avaliação da Conformidade do setor de Rochas Ornamentais por meio dos objetivos:

- ampliar o escopo de caracterização tecnológica de rochas ornamentais; e
- acreditar alguns ensaios do LABRO no escopo das exigências da Norma NBR ISO 17.025,

norma que especifica requisitos que garantem a competência para a execução de ensaios.

No período do ano de 2011 a agosto do ano de 2014, o LABRO funcionava em instalações provisórias cedidas pelo IFES, neste ínterim o projeto foi desenvolvido simultaneamente à construção da sede própria do CETEM-ES, visando à adequação dos laboratórios para a melhor estruturação das futuras instalações laboratoriais, compra de equipamentos e capacitação da equipe técnica, este processo teve como meta cumprir o item requisitos técnicos da norma de competência laboratorial.

A partir de agosto do ano de 2014, concluída a obra da sede do NRES, teve início a implantação do Sistema de Gestão da Qualidade - SGQ e instalações dos equipamentos de ensaio. Esta etapa foi marcada pela elaboração das instruções de trabalho e instruções operacionais, bem como a rastreabilidade dos prestadores de serviços e toda a distribuição física do LABRO.

Depois de finalizada a etapa de implantação, foi possível finalizar o Manual da Qualidade (MQ), registro documental do sistema de gestão, no qual foram definidas as diretrizes administrativas e documentais do laboratório, finalização das instruções e procedimentos para a realização de ensaios, de calibração interna e ensaios de proficiência e as instruções operacionais dos equipamentos.

Em paralelo às atividades no núcleo regional, o CETEM atuou ativamente em outra área de extrema relevância para o andamento do projeto: a elaboração e revisão das normas nacionais de referência para a execução de ensaios. Para tanto, apoiou tecnicamente e secretariou os trabalhos

da Comissão Especial de Estudo de Rochas Ornamentais (CEE nº 187), comissão de normalização da ABNT onde foi revisada a Norma ABNT NBR 15845:2010 - Rochas para revestimento – Métodos de ensaio. Em agosto de 2015 foi publicada a nova versão composta por oito partes, que cancela e substitui a anterior. No período, o LABRO passou por uma fase de adequação aos requisitos da nova norma e se encontra realizando auditorias internas para atender ao escopo da norma de competência laboratorial.

Mesmo se organizando internamente o Laboratório e o Núcleo Regional do Espírito Santo vem sendo reconhecidos como referência regional, auxiliando a elaboração de um laboratório privado em Cachoeiro do Itapemirim e coordenando programas interlaboratoriais.

3. A QUALIDADE NA CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Segundo Frazão (2003, *apud* Silveira, 2008), os insucessos os relatados sobre o comportamento indesejado de rochas ou materiais pétreos, poderiam ter sido evitados se houvesse maior entendimento das propriedades dos materiais diante diferentes solicitações em uso.

Essa questão se caracteriza em toda a cadeia produtiva da rocha ornamental, desde a lavra até o produto final. A falta de conhecimento das características da rocha favorece o baixo aproveitamento na lavra, a perda de material por trincas e fissuras devido a solicitações inadequadas durante o processo de beneficiamento secundário (etapas de polimento), fatores esses que geram custos que inviabilizam a competição da indústria nacional no mercado externo. Além do fator econômico, a falta de conhecimento sobre os aspectos físicos da rocha é uma barreira para que o mesmo seja comercializado em um mercado que está cada vez mais exigente, e que tem acesso a um produto padronizado com garantia de qualidade, como os produtos cerâmicos.

A determinação das propriedades das rochas é realizada por meio da execução de ensaios e análises normalizados em laboratórios especializados que objetivam a obtenção dos parâmetros petrográficos, físicos e mecânicos, cuja análise permitirá a recomendação do uso mais adequado no revestimento de edificações (FRASCÁ, 2013).

Os ensaios comumente utilizados na caracterização das rochas ornamentais têm como objetivo analisar as características físicas e mecânicas dos materiais rochosos destinados ao uso como materiais de revestimento de edificações. Para isso, o CETEM adota a norma ABNT NBR 15845:2015 – Rochas para revestimento, composta por oito partes: Parte 1 - Análise Petrográfica;

Parte 2 - Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água; Parte 3 - Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear; Parte 4 - Determinação da resistência ao congelamento e degelo; Parte 5 - Determinação da resistência à compressão uniaxial; Parte 6 - Determinação do módulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos); Parte 7 - Determinação da resistência à flexão por carregamento em quatro pontos; Parte 8 - Determinação da resistência ao impacto de corpo duro.

O ensaio de grandeza física escolhido para fazer parte do escopo da acreditação do Laboratório foi o de Densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água (ABNT NBR 15845-2:2015), comumente designado no Brasil de índices físicos. O ensaio, além de fornecer o peso da rocha, também fornece importantes informações sobre as microdescontinuidades presentes na rocha, permitindo avaliar indiretamente seu estado de alteração e de coesão (Figura 2).

Também foram escolhidos os seguintes ensaios mecânicos:

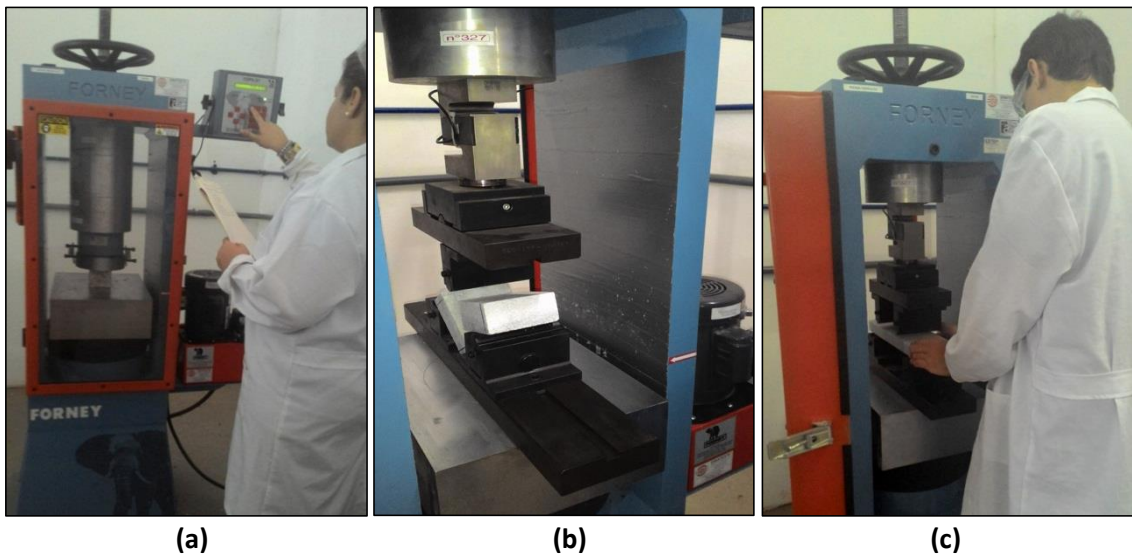
- Resistência à compressão uniaxial (ABNT NBR 15845-5:2015), que determina a tensão (MPa) que provoca a ruptura da rocha, quando submetida a esforços compressivos. Trata-se de um importante índice de qualidade dos materiais rochosos, principalmente quando utilizados como elementos estruturais (Figura 3a).

- Módulo de ruptura (ABNT NBR 15845-6:2015), ou flexão por carregamento em três pontos, que determina a resistência à flexão sob carga concentrada, por carregamento em três pontos (módulo de ruptura), de rochas que se destinam ao uso como materiais de revestimento de edificações (Figura 3b).

- Resistência à flexão por carregamento em quatro pontos (ABNT NBR 15845-7:2015), que determina a tensão de ruptura na flexão sob momento constante, por carregamento em quatro pontos, de placas de rochas que se destinam ao uso como materiais de revestimento de edificações (Figura 3c).



Figura 2 – Determinação de massa seca, saturada e submersa ABNT NBR 15845-2:2015 (Elaboração dos autores)



(a)

(b)

(c)

Figura 3 – Máquina de ensaio ABNT NBR 15845:2015, Parte 5 – Compressão Uniaxial; Parte 6 – Módulo de Ruptura; Parte 7 – Flexão por carregamento em quatro pontos (Elaboração dos autores)

4. A AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE NA CADEIA PRODUTIVA DE ROCHA ORNAMENTAL

A cadeia produtiva de rocha ornamental abrange desde a fase de pesquisa mineral, extração, passando pelo beneficiamento até a sua comercialização, conforme Figura 4. No beneficiamento, subdividido em primário (desdobramento) e secundário (polimento e acabamento) que é agregado ao material rochoso o valor comercial.

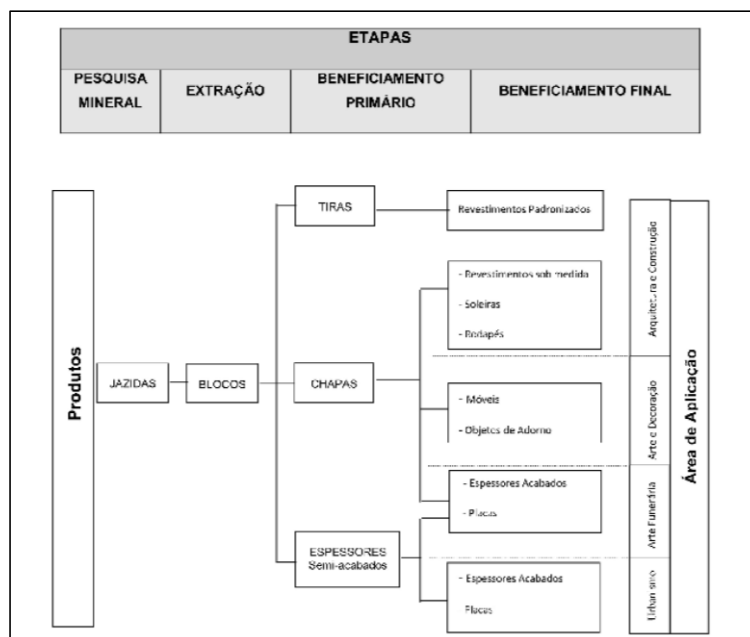


Figura 4 – Fluxograma esquemático do setor, com os principais produtos dos segmentos do ciclo de produção de rochas ornamentais e de revestimentos (Extraído de Vidal, F.W.H *et al.*, 2013)

Apesar de no Brasil nos últimos anos ter apresentado significativa melhora na qualidade operacional de seus parques industriais, principalmente em relação às técnicas de beneficiamento primário (desdobramento) e secundário (polimento), ainda não se tem atentado para a importância de desenvolver, de uma forma mais intensa, pesquisas nesse importante setor produtivo. Em todo o processo de beneficiamento de rocha ornamental, existem lacunas no conhecimento que, em última análise, geram custos, contribuindo para uma diminuição da competitividade da indústria brasileira no mercado Internacional (SILVEIRA, L.L.L. *et al.*, 2013).

A falta da certificação e da rotulagem é um dos entraves à competitividade do produto oriundo da rocha ornamental. Todos os esforços empreendidos pelo CETEM estão concentrados nos ensaios de blocos e amostras de produtos da etapa primária do beneficiamento, sendo um desafio futuro incluir ensaios que compreendam produtos acabados. Para isso, seria necessário unir esforços com o setor privado, tornar o Comitê Especial de Normalização da ABNT um foro permanente, por fim, capacitar e conceber uma rede de laboratórios de ensaios que permitam ampliar o foco até a certificação do produto.

5. CONCLUSÃO

Este breve estudo abordou a necessidade do uso da avaliação da conformidade na cadeia produtiva da rocha ornamental de modo a permitir a execução de ensaios de caracterização tecnológica que garantam a sua melhor empregabilidade e sua maior competitividade. Além de

oferecer credibilidade ao produto, a caracterização tecnológica de rocha ornamental, deveria ser uma ferramenta melhor explorada pelo o produtor, por exemplo, para dimensionar as variáveis de corte, de desdobramento e de polimento.

Como estudo de caso, apresentou a proposta de adoção de práticas metrológicas mais robustas na obtenção dos resultados, por meio de ensaios acreditados proporcionando melhor aproveitamento do material, menor desgaste dos equipamentos e melhor qualidade do produto. Fatores esses podem contribuir para redução de custos tornando o produto mais atrativo no mercado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15845-1:2015. Rochas para Revestimento – Parte 1: Análise Petrográfica. Rio de Janeiro, publicada em 08/08/2015.

_____ - ABNT. NBR 15845-2:2015. Rochas para Revestimento – Parte 2: Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, publicada em 08/08/2015.

_____ - ABNT. NBR 15845-3:2015. Rochas para Revestimento – Parte 3: Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear. Rio de Janeiro, publicada em 08/08/2015.

_____ - ABNT. NBR 15845-4:2015. Rochas para Revestimento – Parte 4: Determinação da resistência ao congelamento e degelo. Rio de Janeiro, publicada em 08/08/2015.

_____ - ABNT. NBR 15845-5:2015. Rochas para Revestimento – Parte 5: Determinação da resistência à compressão uniaxial. Rio de Janeiro, publicada em 08/08/2015.

_____ - ABNT. NBR 15845-6:2015. Rochas para Revestimento – Parte 6 - Determinação do módulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos). Rio de Janeiro, publicada em 08/08/2015.

_____ - ABNT. NBR 15845-7:2015. Rochas para Revestimento – Parte 7 - Determinação da resistência à flexão por carregamento em quatro pontos. Rio de Janeiro, publicada em 08/08/2015.

_____ - ABNT. NBR 15845-8:2015. Rochas para Revestimento – Parte 8 - Determinação da resistência ao impacto de corpo duro. Rio de Janeiro, publicada em 08/08/2015.

_____ - ABNT. NBR ISO/IEC 17.025:2005. Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro, Errata 2, publicada em 25/09/2006.

FRASCÁ, M.H.B.O.: Tipos de rochas ornamentais e características tecnológicas. In: Tecnologia De Rochas Ornamentais: Pesquisa, Lavra e Beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014.p.43-98.

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - INMETRO. Avaliação da Conformidade. Rio de Janeiro: Diviq/Inmetro, 2007. 5ª ed. Disponível em: <www.inmetro.gov.br>.

SILVEIRA, L.L.L. *et al.*: Beneficiamento De Rochas Ornamentais. In: Tecnologia De Rochas Ornamentais: Pesquisa, Lavra e Beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014.p.327-398.

SILVEIRA, L.L.L.: Polimento de rochas ornamentais: Um enfoque tribológico ao processo. Curitiba: pós escrito, 2008.p.208.

VIDAL, F.W.H. *et al.*: Introdução. In: Tecnologia De Rochas Ornamentais: Pesquisa, Lavra e Beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014.p.15-42.

CARACTERIZAÇÃO RADIOMÉTRICA DE GRANITÓIDES DO CEARÁ

Joni Gaspar Marques¹, Maria do Rosário Mascarenhas de Almeida Azevedo², José de Araújo

Nogueira Neto³, Alcides José Sousa Castilho Pereira⁴, Francisco Diones Oliveira Silva⁵

^{1, 3, 5} Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Bloco 912, 60455-760, Fortaleza, CE, Brasil

² GeoBio Tec, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Campus de Santiago, 3810-193, Aveiro

⁴ UC, departamento de ciências da terra, largo Marquês de Pombal – 3000-272 Coimbra – Portugal
joni.g.marques@gmail.com

RESUMO

A preocupação com a radiação de algumas rochas usadas, ou com potencial de serem usadas, como ornamental e/ou de revestimento tem aumentado. O gás radônio (^{222}Rn) tem sido considerado uma das principais causas de câncer pulmonar nos Estados Unidos da América. Deste modo, torna-se importante aumentar e aprimorar os estudos radiométricos, tanto em ambientes fechados como em ambientes abertos, para as rochas deste mercado. Para isso, o objetivo desta investigação consistiu na caracterização radiométrica de três granitóides no Ceará, com vista a avaliar o seu potencial para a utilização como rocha ornamental, tendo em conta os seus valores de radiação. Os três granitóides abordados neste trabalho são: granito Banabuiú (o único a ser comercializado como rocha ornamental), fácies Quixadá e fácies Serra Branca. Para o efeito, foi realizado o ensaio de exalação de radônio, seguindo a metodologia do Laboratório de Radioatividade Natural do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra (LRN-DCTUC). Os valores de radônio do granito Banabuiú para as atividades específicas ($> 400 \text{ Bq/m}^3$) e para o fluxo ($> 0,3 \text{ Bq/m}^2/\text{h}$) são os mais elevados dos três materiais. Apesar das diferenças de resultados, em termos de radiação, o granito Banabuiú pode continuar a ser explorado como rocha ornamental assim como as fácies Quixadá e Serra Branca poderão vir a ser exploradas comercialmente como rocha ornamental e/ou de revestimento sem acarretar perigo para a saúde pública.

PALAVRAS-CHAVE: Radônio, Granito Banabuiú, Fácies Quixadá, Fácies Serra Branca, Rocha Ornamental.

ABSTRACT

Concern about radiation used some rocks, or with potential to be used as ornamental and / or coating has increased. The radon gas (^{222}Rn) has been considered a major cause of lung cancer in the United States of America. Thus, it is important to increase and improve the radiometric studies, both indoors as outdoors, to the rocks of this market. For this, the objective of this investigation was the radiometric characterization of three granitoids of Ceará, in order to assess their potential for use as dimension stone, taking into account their radiation values. The three granitoids addressed in this work are: Banabuiú granite (the one being marketed as ornamental rock), Quixadá facies and Serra Branca facies. To this end, the radon exhalation test of radon was carried out following the methodology of the Laboratório de Radioatividade Natural from the Departamento de Ciências da Terra, in Universidade de Coimbra (LRN-DCTUC). The values of radon Banabuiú granite for the specific activity ($> 400 \text{ Bq} / \text{m}^3$) and the flow ($> 0.3 \text{ Bq} / \text{m}^2 / \text{h}$) is the highest of the three materials. Despite the differences in results in terms of radiation, Banabuiú granite can continue to be exploited as ornamental rock as well as Quixadá and Serra Branca facies are likely to be commercially exploited as an ornamental rock and / or coating without causing danger to public health.

KEYWORDS: Radon, Banabuiú Granite, Quixadá Facies, Serra Branca Facies, Decorative dimension stones.

1. INTRODUÇÃO

O grande potencial geológico, crescimento demográfico e desenvolvimento tecnológico têm feito com que o mercado de rochas ornamentais no Brasil se tenha tornado referência mundial. Para além da expansão da pesquisa e da atividade extrativa, o Brasil tem vindo a investir no aperfeiçoamento da sua capacidade de processamento e beneficiamento, o que aliado à existência de boas infraestruturas de transporte tem contribuído decisivamente para a dinamização deste setor produtivo.

O estudo dos três granitóides incidiu na caracterização radiométrica direcionada à utilização como rocha ornamental, dado o elevado interesse no mercado estadual desse setor.

As amostras para a realização desta investigação foram retiradas de uma frente de lavra de uma pedreira em atividade na região de Banabuiú (coordenadas UTM: 502721mE/9416666mN), num afloramento junto à entrada de Quixadá na estrada CE-265 (coordenadas UTM: 501479mE/9451762mN) e num afloramento junto a uma linha de trem e à estrada CE-166 (coordenadas UTM: 465525mE/9418698mN).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, foram seleccionados os três granitóides do estado do Ceará, coletando-se, de cada litótipo, três blocos com dimensões em torno de 40 x 40 x 30 cm, para confecção de corpos-de-prova e determinação das suas propriedades tecnológicas.

No Laboratório de Radioatividade Natural do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra (LRN-DCTUC) (Coimbra, Portugal), foi executado o ensaio de exalação de gás radônio, seguindo-se a metodologia do laboratório em questão e a metodologia proposta por Gómez *et al.*, 2011.

Posteriormente foram efetuados alguns tratamentos dos dados, com o intuito de avaliar a sua perigosidade para a saúde pública ou não.

O fluxo de exalação de radônio (F), definido pelo laboratório de trabalho, em Bq/m²/h, é calculado através da equação:

$$F = (V_{cont}/[Aplaca*t])*(CRn-CRn_{bck}) \quad (1)$$

Onde V_{cont} é o volume livre do contentor (m³), Aplaca é a área da placa (m²), t é o tempo (h), CRn é o valor atividade específica (Bq/m³) e CRn_{bck} é o valor do background da atividade específica (Bq/m³).

3. RESULTADOS

3.1 Exalação de gás Radônio

Os resultados de concentração da exalação de radão dentro do contentor (atividade específica) estão sumarizados no quadro 4. Na mesma tabela, indicam-se os valores calculados de fluxo e os valores de background. Durante o período de análise, a temperatura variou de 16°C a 19°C, a pressão de 988 a 989 mbar e a humidade relativa de 71% rH a 63% rH.

Quadro 1 – Resultados dos ensaios da concentração da exalação do radão (Elaboração dos autores).

Amostra	Tempo		CRn (Bq/m ³)	CRn_bck (Bq/m ³)	F (Bq/m ² /h)	Observações	
	Início	Fim					
Ra 1	(10h58)	(10h13)	111	176	< LD*	Fácies Serra Branca	
	(11h04)	(11h19)					
Ra 2	(11h21)	(11h36)	252	47	0,241		
	(11h27)	(11h42)					
Ra 3	(11h44)	(11h59)	197	110	0,102		
	(11h50)	(12h05)					
Ra 4	(12h06)	(12h21)	99	156	< LD*		
	(12h12)	(12h27)					
Ra 5	(12h30)	(12h45)	398	70	0,385		Granito Banabuiú
	(12h36)	(12h51)					
Ra 6	(12h53)	(13h08)	622	151	0,553		
	(12h59)	(13h14)					
Ra 7	(13h18)	(13h33)	412	155	0,302		
	(13h24)	(13h39)					
Ra 8	(13h40)	(13h55)	643	132	0,600		
	(13h46)	(14h01)					
Ra 9	(14h03)	(14h18)	132	141	< LD*	Fácies Quixadá	
	(14h09)	(14h24)					
Ra 10	(14h28)	(14h43)	74	69	0,006		
	(14h34)	(14h49)					
Ra 11	(14h51)	(15h06)	106	31	0,088		
	(14h57)	(15h12)					
Ra 12	(15h13)	(15h28)	76	21	0,065		
	(15h19)	(15h34)					

*LD – limite de deteção

As actividades específicas mais altas foram registadas nas amostras do granito Banabuiú (> 400 Bq/m³), enquanto que as amostras das fácies Quixadá e Serra Branca apresentam valores de actividade específica significativamente inferiores (Quadro 1, Fig. 1).

À semelhança do que acontece com os dados da actividade específica, também é o granito Banabuiú que exhibe os valores de fluxo mais elevados (> 0,3 Bq/m²/h), enquanto as amostras da fácies Quixadá mostram os valores mais baixos (<0,09 Bq/m²/h), ver quadro 1 e figura 1.

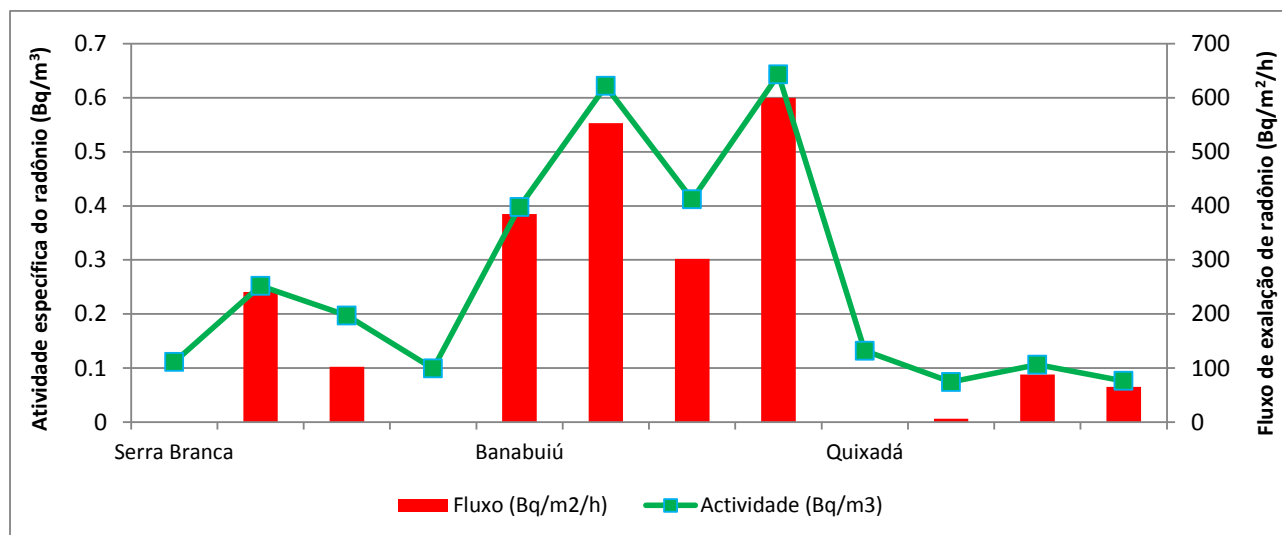


Figura 1 – Gráfico comparativo da atividade específica do radônio em Bq/m^3 com o fluxo de exalação de radônio em $Bq/m^2/h$ (Elaboração pelos autores).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da caracterização radiométrica dos três granitóides demonstrou que as amostras do granito Banabuiú são as que apresentam os maiores valores tanto para a atividade específica como para o fluxo e que as amostras da fácies Quixadá apresentam os menores valores. Tendo em conta que os valores aceites pela agência de proteção ambiental (EPA) dos E.U.A. para ambientes fechados são de $148 Bq/m^3$ (4 pCi) e os valores da comissão europeia são de $200 Bq/m^3$, as amostras do granito Banabuiú e as amostras Ra 2 e Ra 3 da fácies Serra Branca não deverão ser aplicadas em ambientes fechados.

Contudo, deve-se ter em conta, por exemplo, que as habitações não são totalmente fechadas e têm uma determinada ventilação. Assim esse valor será menor e, provavelmente, poderão aplicar-se todas as amostras em questão como ornamentação e revestimento interno.

AGRADECIMENTOS

À Universidade de Aveiro (UA) e à Universidade Federal do Ceará (UFC) por permitirem todas as condições para a realização da presente investigação. Ao Laboratório de Radioatividade Natural do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra (LRN-DCTUC) (Coimbra, Portugal), por permitir a execução das análises em questão.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EUROPEAN COMMISSION (1999). Radiation Protection 112 Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials. Directorate-General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection.

GOMEZ, D.P; NEVES, L.; PEREIRA, A.; NEILA, C.G. (2011). Natural radioactivity in ornamental stones: an approach to its study using stones from Iberia. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, v. 70, p 543-547.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2013). Basic Radon Effects.

ERRATA

EM 10 DE MARÇO DE 2018, TENDO SE VERIFICADO A FALTA DO TRABALHO ABAIXO, O QUAL FOI APRESENTADO NO IX SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, O MESMO FOI ADICIONADO NAS PÁGINAS DE 681 A 686 DESTA LIVRO.

CARACTERIZAÇÃO RADIOMÉTRICA DE GRANITÓIDES DO CEARÁ

DE AUTORIA DE JONI GASPAR MARQUES, MARIA DO ROSÁRIO MASCARENHAS DE ALMEIDA AZEVEDO, JOSÉ DE ARAÚJO NOGUEIRA NETO, ALCIDES JOSÉ SOUSA CASTILHO PEREIRA E FRANCISCO DIONES OLIVEIRA SILVA.

OS EDITORES

Patrocínio Diamante

Ministério da Ciência,
Tecnologia e Inovação

Secretaria de Geologia,
Mineração e
Transformação Mineral

Ministério de Minas
e Energia



Patrocínio Ouro



Patrocínio Prata



Patrocínio Bronze



Mídia



Associação Brasileira de
Metalurgia, Materiais e Mineração



Sociedade Brasileira
para o Progresso da Ciência



Apoio

