

SIMIN



ANAIS

IV Simpósio de Minerais Industriais 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

IV Simpósio de Minerais Industriais 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
IV SIMPÓSIO DE MINERAIS INDUSTRIAIS DO NORDESTE

ORGANIZADORES DOS ANAIS

FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL
NURIA FERNÁNDEZ CASTRO

COMISSÃO TÉCNICA

Adão Benvindo da Luz
Antonio Augusto Pereira Sousa
Antônio Pedro Ferreira Sousa
Belarmino Barbosa Lira
Carlos Adolpho Magalhães Baltar
Carlos César Peiter
Elbert Valdiviezo Vieira
Fabrício Fernandes Vieira
Francisco Wilson Hollanda Vidal
Gilberto Freire Rangel
Hieres Vettorazzi da Silva
Hudson Jean Bianquini Couto
José Yvan Pereira Leite
Julio Cesar de Souza

Julio César Guedes Correia
Jurgen Schnellrath
Lauro César Montefalco de Lira Santos
Letícia Valdo
Luiz Carlos Bertolino
Marcondes Mendes de Souza
Marinésio Pinheiro de Lima
Nuria Fernández Castro
Paulo Fernando Almeida Braga
Sílvia Cristina Alves França
Thalissa Pizeta Altoé
Túlio César Soares dos Santos André
Vanildo Almeida Mendes
Vitor Leão Santana

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 Minerais Industriais do Nordeste (4: 2016: João Pessoa-PB)

Anais do IV Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste, abril 2016
Org. Francisco Wilson Hollanda Vidal, Nuria Fernández Castro – Rio de Janeiro:
CETEM/MCTI, 2016.

578p.: il.

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

ISBN 978-85-8261-049-7

CDD - 553.5

APRESENTAÇÃO

Quatro anos passaram-se desde a última edição do Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste, realizada em Natal-RN, entre 30 de outubro e 1 de novembro de 2012, organizada pelo Instituto Federal de Rio Grande do Norte – IFRN, a Universidade Federal de Pernambuco – UFPE e pelo Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/MCTI. Nesta ocasião, o **IV Simpósio de Minerais Industriais do Nordeste (IV SIMIN)**, o **IX Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste (IX SRONE)**, 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 IV Simpósio de Minerais Industriais 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 ministradas pelos pesquisadores da área (CETEM, UFCG e UFPE) e representantes institucionais como Miguel Nery (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial - ABDI), Alysson Cardoso Ferreira (Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia – IBICT/MCTI) e Marsis Cabral Júnior (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT). Paralelamente ao simpósio foi oferecido um minicurso de atualização profissional em tecnologia mineral, focado em minerais industriais, por iniciativa institucional do CETEM, no formato de ciclo de palestras, ministradas por especialistas do CETEM e de outras instituições.

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

PRINCIPAIS OCORRÊNCIAS DE MINERAIS INDUSTRIAIS NO ESTADO DA PARAÍBA: UMA REVISÃO LUCAS AGUIAR DE MEDEIROS, JOSÉ A. RIBEIRO ALBUQUERQUE, LUIS E. MORAIS CHAVES, LAURO CEZAR MONTEFALCO DE LIRA SANTOS, ALEXANDRE JOSÉ BURIL DE MACÊDO	1
SÍNTESE DAS PRINCIPAIS OCORRÊNCIAS MINERAIS DE PEGMATITOS NO SERIDÓ (PB-RN) LAURO CEZAR MONTEFALCO DE LIRA SANTOS, FABRÍCIO FERNANDES VIEIRA, ELISSANDRA N. MOURA, VANDRIELE ALVES GENUÍNO, EMERSON DIEGO G. SALES	11
MAPEAMENTO GEOLÓGICO DE DETALHE DO PEGMATITO ALTO DO FEIO, REGIÃO DE PEDRA LAVRADA, SERIDÓ PARAÍBANO VANDRIELE ALVES GENUÍNO, LAURO CEZAR MONTEFALCO DE LIRA SANTOS, FABRÍCIO FERNANDES VIEIRA	18
MAPEAMENTO GEOLÓGICO, ZONEAMENTO MINERAL E POTENCIAL ECONÔMICO DO PEGMATITO ALTO DA SERRA BRANCA, REGIÃO DE PEDRA LAVRADA, SERIDÓ PARAÍBANO EMERSON DIEGO GOMES SALES, LAURO CEZAR MONTEFALCO DE LIRA SANTOS, FABRÍCIO FERNANDES VIEIRA	28
ASPECTOS ECONÔMICOS DA LAVRA INTEGRAL DO PEGMATITO ALTO DA SERRA BRANCA MARINÉSIO PINHEIRO LIMA, JÚLIO CÉSAR DE SOUZA, FRANCISCO WILSON HOLLANDA VIDAL, ELBERT VALDIVIEZO VIERA	38
A IMPORTÂNCIA DAS OPERAÇÕES DE INFRAESTRUTURA DE MINA – UM ESTUDO SOBRE AS ATIVIDADES REALIZADAS NA LAVRA DE BAUXITA PELA MINERAÇÃO PARAGOMINAS S/A VIVIANNE DE CÁSSIA PAIXÃO ANDRADE, SUELEN SILVA ROCHA, KEYLA KARLA DE MELO SILVA, HERMESON CARNEIRO RODRIGUES,	47
A EFICIÊNCIA DO USO DE MACROS NA CONSTRUÇÃO DO PLANO DE LAVRA JOÃO CIPRIANO NETO, JONY PETERSON DE OLIVEIRA LIMA	57
MODELO DE BLOCO DA MINA DE CAULIM GALO BRANCO, EQUADOR – RN DEYVINE HENRIQUE RAMOS SILVA, MARINÉSIO PINHEIRO LIMA	67
ANÁLISE DA ESTABILIDADE DAS ESCAVAÇÕES NO PEGMATITO ALTO DA SERRA BRANCA MARINÉSIO PINHEIRO LIMA, ROBSON R. LIMA, FRANCISCO W.H.VIDAL, ELBERT VALDIVIEZO VIERA	76
SIMULAÇÃO E ANÁLISE DA FRAGMENTAÇÃO NO DESMONTE DE ROCHAS NA PEDREIRA HERVAL - BARREIROS – PE ANDRÉVHITY CARLOS S. DA SILVA, JÚLIO CÉSAR DE SOUZA, SUELEN SILVA ROCHA	87
VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DE CORREIAS TRANSPORTADORAS NA MINERAÇÃO DE GIPSITA EM ARARIPINA ROMERO CÉSAR AFONSO DE MELO FILHO, JÚLIO CÉSAR DE SOUZA, RICARDO ALVES DA SILVA, HERMESON CARNEIRO RODRIGUES, SUELEN SILVA ROCHA, FLÁVIA DE FREITAS BASTOS	99
AValiação de blindagem com correntes em caminhões fora de estrada 777F/G da mina de bauxita da mineração Paragominas S/A SUELEN SILVA ROCHA, EDIL PIMENTEL, VIVIANNE DE CÁSSIA PAIXÃO ANDRADE	107

ASPECTOS MINERALÓGICOS DOS DIAMANTES DE ANDARAÍ, CHAPADA DIAMANTINA-BA LUIÇA D. V. DE CARVALHO, JURGEN SCHNELLRATH, SÍLVIA R. DE MEDEIROS, FABRÍCIO F. VIEIRA _____	116
VERMICULITA, MAIS QUE UM MINERAL TERMOACÚSTICO SILVIA C. A. FRANÇA, PAULO F. A. BRAGA, HUDSON J. B. COUTO, CAROLINE C. GONÇALVES _____	126
CARACTERIZAÇÃO DE AREIA PROPANTE DA BACIA DO PARNAÍBA PAULO F. A. BRAGA, FRANCISCO M. R. S. LIMA, GUILHERME C. MOREIRA, CAROLINE C. GONÇALVES _____	137
CARACTERIZAÇÕES MINERALÓGICA E TECNOLÓGICA DO CAULIM DA REGIÃO DE EQUADOR (RN) E JUNCO DO SERIDÓ (PB) LUIZ CARLOS BERTOLINO, VICTOR MATHEUS JOAQUIM SALGADO CAMPOS, MARINÉSIO PINHEIRO LIMA, ODIVALDO CAMBRAIA ALVES _____	147
CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE FELDSPATOS PEGMATÍTICOS USADOS COMO FUNDENTE AILMA R.S. MEDEIROS, LÍGIA M. GONZAGA, DENILDA J. S. FERREIRA, RAFAEL C. SILVA _____	157
ANÁLISE DA DECOMPOSIÇÃO TÉRMICA DA GIPSITA JOHNSON PROCESSADA EM MOINHO PLANETÁRIO DE BOLAS ALAN ANDERSON DE ARRUDA TINO, MARCELO FRANCISCO GOMES, PEDRO LUIZ GUZZO, REINER NEUMANN _____	167
ESTUDO COMPARATIVO DA MOAGEM ULTRAFINA DE CALCÁRIO METAMÓRFICO E SEDIMENTAR EM MOINHO PLANETÁRIO DE BOLAS FILIPE B. M. BARROS, ALAN A. A. TINO, PEDRO L. GUZZO, EVENILDO BEZERRA DE MELO _____	177
INFLUÊNCIA DO TIPO DE MOINHO NA DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHO E FORMA DE PARTÍCULAS DE MOSCOVITA SILVIA C. A. FRANÇA, SHIRLENE S. FONTES, KAROLLYNE CASTRO _____	187
ESTUDOS DA ROCHA POTÁSSICA E APLICAÇÃO COMO FERTILIZANTE ALTERNATIVO DE POTÁSSIO THUANNY H. SOARES, ADÃO BENVINDO DA LUZ, ADRIANA SOEIRO S. FELIX, RANIELLE S. S. DIAS _____	198
ETAPAS DE EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO DO SIENITO NA MINERAÇÃO CRAIBEIRA, UNIDADE DE PEDRA LAVRADA – PB FRANCISCO A. SOUZA, ANTÔNIO RENATO G. BRITO, ANTÔNIO DE PÁDUA C. LIMA SOBRINHO _____	207
OBTENÇÃO DE PÓ DE QUARTZO DE ELEVADA PUREZA POR LIXIVIAÇÃO ÁCIDA PARA PRODUÇÃO DE SÍLICA VÍTREA FELIPE LINDOLFO DA SILVA, ANA ELIZABETH R. DE FREITAS, VIVIAN STUMPF MADEIRA, BELARMINO B. LIRA _____	215
TRATAMENTO DE CAULINITA PARA INTERCALAÇÃO COM POLÍMEROS: PRODUÇÃO DE NANOCOMPÓSITO LUANA DUTRA S. SILVA, ANA LÚCIA NAZARETH, CHRISTINE RABELLO, LUIZ CARLOS BERTOLINO _____	225
FLOTAÇÃO EM COLUNA APLICADO À CONCENTRAÇÃO DE SCHEELITA A PARTIR DE REJEITO HUDSON J. B. COUTO, VITOR O. ANDRADE, ODON O. SOUZA, TÚLIO C. S. S. ANDRÉ _____	235
DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS E EQUIPAMENTO INTEGRADO AO APL OPALA DA REGIÃO DE PEDRO II FRANCISCO W. H. VIDAL, CARLOS ALBERTO M. SANTOS, LEONARDO CATTABRIGA FREIRE _____	245

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERROVISANDO O MELHOR APROVEITAMENTO NAS ETAPAS DE BENEFICIAMENTO MINERAL DEFSSON DOUGLAS DE ARAÚJO FERREIRA, VINÍCIUS REWEL DO NASCIMENTO CORDEIRO, JOSÉ IAN FARIAS SANTOS, ADRIANA LEMOS PORTO	257
APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE CAULIM PARA A FABRICAÇÃO DE ARGAMASSAS COLANTES CIRILA RAQUEL DE ARAÚJO GOMES, ELBERT VALDIVIEZO VIERA	267
USO DE RESÍDUO DO CORTE DE MÁRMORES EM SUBSTITUIÇÃO AO FUNDENTE NA PRODUÇÃO DE PELOTAS DE MINÉRIO DE FERRO IVAN GALDINO DA SILVA, JOÃO B. CONTI DE SOUZA,	277
RESULTADOS PRELIMINARES DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE NA MINERAÇÃO DE CAULINS DOS ESTADOS DA PARAÍBA E RIO GRANDE DO NORTE VITOR LEÃO SANTANA, ELBERT VALDIVIEZO VIERA	286
O COOPERATIVISMO MINERAL E ALTERNATIVAS DE SUSTENTABILIDADE: UM ESTUDO DE CASO NA COOPICUÍ JAQUELINE DANTAS, KLEBSON C. COSTA, ALUNILDA J. DE OLIVEIRA, JOSÉ LUCIANO A. BARBOSA	296
DESMONTE COM ESTRATÉGIAS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA: UMA COLABORAÇÃO PARA A SAÚDE E BEM-ESTAR DO TRABALHADOR E POPULAÇÕES CIRCUNVIZINHAS JULIO CESAR DE PONTES, PAULO HENRIQUE M. DO NASCIMENTO, VALDENILDO P. DA SILVA, VERA L. A. DE LIMA	306
O MERCADO DE FERTILIZANTES NPK NO BRASIL PEDRO IGOR VEILLARD FARIAS, ESTEVÃO FREIRE	315

APRESENTAÇÕES PÔSTER

CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS, TEXTURAIS E QUÍMICAS DOS METACALCÁRIOS DO COMPLEXO ARATICUM, REGIÃO DE BATALHA-AL HAROLDO MONTEIRO LIMA, LAURO CEZAR MONTEFALCO DE LIRA SANTOS, VALDEREZ PINTO FERREIRA, ROBERTO LUCIO BELO DE SOUZA JUNIOR	325
COMPARTIMENTAÇÃO ESTRUTURAL DOS PEGMATITOS ALTO DO FEIO E ALTO DA SERRA BRANCA, REGIÃO DE PEDRA LAVRADA (PARAÍBA) LAURO CEZAR MONTEFALCO DE LIRA SANTOS, FABRÍCIO FERNANDES VIEIRA, VANDRIELE A. GENUÍNO, EMERSON DIEGO GOMES SALES	330
SENSORIAMENTO REMOTO AUXILIANDO A PESQUISA MINERAL NO SERIDÓ (PB/RN) MARÍLLIA DE FREITAS S. ARAÚJO, FABRÍCIO FERNANDES VIEIRA, ELISSANDRA N. MOURA	340
IMPLANTAÇÃO DA UNIDADE DE BRITAGEM DA EMPRESA GALVÃO ENGENHARIA PARA PRODUÇÃO DE BRITA PARA PAVIMENTAÇÃO DO TRECHO DA BR 101 RN/DIVISA DA PB MAURO FROES MEYER, MARCONDES MENDES DE SOUZA, VALTER CRUZ S. JUNIOR	350
AValiação de Viabilidade Ambiental, Técnica e Econômica da Atividade de Extração de Argila no Município de Campina Grande- PB VALTER CRUZ S. JUNIOR, MAURO FROES MEYER, MARCONDES MENDES DE SOUZA	360

RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS – ESTUDO DO CASO: ARMIL MINERAÇÃO DO NORDESTE LTDA VÂNIA MARIA DE MELO TAVARES, ILANA MARIA DA SILVA SANTOS, MAURO FROES MEYER_____	369
MARCADORES E ESTÁGIOS DE DEFORMAÇÃO COM DETERMINAÇÃO DO BLOCO DE PARTIÇÃO EM PEDREIRAS NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE ALFREDO CÉSAR V. DE ARAÚJO, EVENILDO BEZERRA DE MELO, MÁRCIO LUIZ S. DE CAMPOS BARROS, FELISBELA M. DA COSTA OLIVEIRA_____	376
TRATAMENTO DE MINÉRIOS APLICADO AOS RESÍDUOS DE QUARTZITOS DA REGIÃO DO SERIDÓ PARAIBANO PARA POSSÍVEIS UTILIZAÇÕES NA INDÚSTRIA CERÂMICA PEDRO HENRIQUE F. BALBYS DE ARRUDA, DEFSSON DOUGLAS DE A. FERREIRA, ADRIANA LEMOS PORTO _____	386
TRATAMENTO TÉRMICO EM FLUORAPATITAS GEMOLÓGICAS DA REGIÃO DE SUMÉ-PB, BRASIL FABRÍCIO FERNANDES VIEIRA, LUÍSA DINIZ VILELA DE CARVALHO, ELISSANDRA N. MOURA, LAURO CEZAR MONTEFALCO DE LIRA SANTOS_____	396
ANÁLISE AMBIENTAL PARA OBTENÇÃO DE GRANITO PARA BRITA NO SÍTIO BARRA DO SABUGÍ, MUNICÍPIO DE SÃO FERNANDO / RN GEOVANE NASCIMENTO DA SILVA, VICTOR VINICIUS PEREIRA ANDRADE, MAURO FROES MEYER_____	405
AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE AMBIENTAL, TÉCNICA E ECONÔMICA DA ATIVIDADE DE EXTRAÇÃO DE CASCALHO NO MUNICÍPIO DE ARÊS – RN ILANA MARIA DA SILVA SANTOS, VÂNIA MARIA DE MELO TAVARES, MAURO FROES MEYER_____	412
CARACTERIZAÇÃO DO ESTÉRIL DA LAVRA DE ROCHAS ONAMENTAIS PARA FABRICAÇÃO DE BRITA JULIANO TESSINARI ZAGÔTO, RÔMULO FURTADO FARIA_____	418
CARACTERIZAÇÕES MINERALÓGICA E TECNOLÓGICA DA PLYGORSKITA DA REGIÃO DE GUARDALUPE-PI VISANDO SUA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DE FÁRMACOS LUIZ CARLOS BERTOLINO, RAYSSA PAULA PAZ FURLANETTO, VITOR SCHWENCK BRANDÃO_____	428
OS IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA EXTRAÇÃO DO CALCÁRIO NO MUNICÍPIO DE JANDAÍRA/RN NAYANE DA SILVA LIMA JÉSSICA, MIRELLE BERTO DA SILVA, MARCOS AURÉLIO DE OLIVEIRA MAIA_____	438
UTILIZAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA PARA MINIMIZAR OS IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DO DESMONTE DE ROCHAS ORNAMENTAIS PAULO HENRIQUE M. DO NASCIMENTO, JULIO CESAR DE PONTES, VALDENILDO P. DA SILVA, VERA L. A. DE LIMA____	445
A IMPORTANCIA DA ÁGUA E SUAS DIVERSAS APLICAÇÕES NA MINERAÇÃO PAULO HENRIQUE M. DO NASCIMENTO, MAURO FROES MEYER_____	455
EFEITO DO MEIO NA LIBERAÇÃO DE POTÁSSIO EM ROCHAS ORNAMENTAIS: UM ESTUDO POR MODELAGEM MOLECULAR PEDRO F. B. PIRES, JULIO C. G. CORREIA, ALEXANDRE N. M. CARAUTA_____	465
COMPARAÇÃO DA CARACTERIZAÇÃO DE DIFERENTES MICAS NO USO DE FERTILIZANTES NATURAIS RAYANE DE L. CIRILO, JOSÉ AVELINO FREIRE_____	472
CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS ESPERSSATITAS DE DIFERENTES TONALIDADES DE LARANJA DE CARNAÚBA DOS DANTAS – RN, PROVÍNCIA BORBOREMA SONALLY LUCI T. A. SOUSA, FABRÍCIO FERNANDES VIEIRA, ELISSANDRA N. MOURA_____	482

ESTUDO PARA MELHORAMENTO DO BENEFICIAMENTO DO FELDSPATO NA REGIÃO DE PEDRA LAVRADA – PARAÍBA THAMIRES DE CASTRO ALMEIDA, ELBERT VALDIVIEZO VIERA_____	493
REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA NAS USINAS DE BENEFICIAMENTO NA ATIVIDADE MINERAL VÂNIA MARIA DE MELO TAVARES, ILANA MARIA DA SILVA SANTOS, MAURO FROES MEYER_____	499
CARACTERIZAÇÃO DO CAULIM DE EQUADOR/RN POSTERIOR AO PROCESSO DE CLASSIFICAÇÃO EM HIDROCICLONE VITOR L. SANTANA, ELBERT VALDIVIEZO VIERA, FRANCISCO W. H. VIDAL_____	508
CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO REJEITO PROVENIENTE DO BENEFICIAMENTO DE MOSCOVITA AILMA R. S. MEDEIROS, LÍGIA MARA GONZAGA, RENAN N. R. DA ROCHA, JOSÉ RAMILSON S. OLIVEIRA_____	517
USO DO GRANITO NA COMPOSIÇÃO DA MASSA PARA REVESTIMENTO CERÂMICO DANTE DE L. FERNANDES, MARCONDES MENDES DE SOUZA, LUIZ F. P. DE M. NÓBREGA_____	526
PARÂMETROS TECNOLÓGICOS DOS MINERAIS INDUSTRIAIS IDENTIFICADOS NOS REJEITOS DA MINA BODÓ – RN ERICA DE SOUSA MORAIS, JAKELINE PEREIRA DA S, MARCOS AURÉLIO DE OLIVEIRA MAIA_____	532
ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO E BENEFICIAMENTO DE RESÍDUO DE CAULIM KAYRONE M. ALMEIDA, FRANCISCO W. H. VIDAL, NURIA FERNÁNDEZ CASTRO_____	538
ENSAIOS TECNOLÓGICOS PARA INSERÇÃO DO ARENITO NA MASSA CERÂMICA PARA REVESTIMENTO LUIZ F. P. DE M. NÓBREGA, MARCONDES MENDES DE SOUZA, YURI S. GOMES_____	547
FLOTAÇÃO DE FELDSPATO PEGMATÍTICO DE EQUADOR – RN MARCELO RODRIGUES, VALENTINA R. A. S. ARCANJO, ADRIANO P. LEANDRO_____	557



**IV Simpósio de Minerais
Industriais do Nordeste**

10 a 13 de abril / 2016
João Pessoa - PB

TRABALHOS APRESENTADOS ORALMENTE

PRINCIPAIS OCORRÊNCIAS DE MINERAIS INDUSTRIAIS NO ESTADO DA PARAÍBA: UMA REVISÃO

Lucas A. de Medeiros¹, José A. Ribeiro Albuquerque¹, Luis E. Morais Chaves¹, Lauro C. Montefalco de Lira Santos², Alexandre José B. de Macêdo²

¹ Graduando em Engenharia de Minas, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, UAMG

² Professor, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, UAMG

lucasaguiar_@live.com

RESUMO

O Estado da Paraíba possui amplo potencial mineral, contribuindo significativamente para a produção nacional, principalmente no que concerne aos minerais industriais. Dentre estes, destacam-se os minerais não metálicos que se concentram em grande parte na região do Seridó deste Estado e do Rio Grande do Norte, os quais são conhecidos e explorados desde a II Guerra Mundial. O presente trabalho tem por objetivo apresentar uma revisão sobre algumas das principais ocorrências de minerais com aplicabilidade industrial do referido Estado. Com base nesta pesquisa, sugere-se a divisão dos principais bens minerais produzidos atualmente no estado em 6 grandes grupos: i) Arenitos e areais para extração de areia e argila; ii) rochas vulcânicas, subvulcânicas e argilitos para extração de vermiculita e diversos argilominerais, com destaque para a bentonita; iii) rochas ornamentais e de revestimento, com destaque para o granito Sucuru para o primeiro grupo e o quartizito para fins de revestimento; iv) brita e calcário para construção civil e indústria cimento; v) variadas ocorrência de minerais de pegmatitos, os quais incluem quartzo, feldspato, micas,ect.; além de vi) outras ocorrências de minerais industriais, que não se encaixam nos grupos anteriores, mas que possuem certa relevância, como a fosforita, apatita e o filito. Os bens minerais citados, fornecem matéria prima para diversos segmentos da indústria, tais como: construção civil, setor ceramista, indústria química, agricultura, indústrias ótica e eletrônica. Os maiores exemplos de produção em larga escala para a indústria atualmente no estado, correspondem a bentonita de Boa Vista e o calcário calcítico do litoral paraibano, os quais são comercializados para boa parte do território nacional. O levantamento dos dados referentes a essas ocorrências minerais no estado evidencia seu potencial para do desenvolvimento de empreendimentos mineiros em larga escala, além de representar um material-guia para o desenvolvimento de pesquisas de cunho acadêmico.

PALAVRAS-CHAVE: Minerais industriais, Ocorrências, Paraíba.

ABSTRACT

The Paraíba state has a large mineral potential for industrial minerals. Among these, we highlight the non-metallic minerals that are concentrated largely in the Seridó region, which are known and exploited since World War II. This study aims to present a review about the main occurrences of minerals with industrial applicability of that State. Based on this research, it is suggested the division of the main mineral commodities currently produced in the state in six groups: i) sandstones and sand for sand and clay extraction; ii) volcanic rocks, sub volcanic rocks and argillites to vermiculite, beyond several clay minerals, especially bentonite; iii) natural and covering stones, especially Sucuru granite for the first group and quartzite for coating purposes; iv) gravel and limestone for construction and cement industry; v) variable occurrences of pegmatite minerals, which include quartz, feldspar and micas; and vi) other occurrences of industrial minerals which do not fit into the above groups, but are relevant as phosphate, apatite and phyllite. The cited minerals, provide raw material for a variety of industries, such as: construction, ceramist industry, chemical industry, agriculture, optical and electronics industries. The greatest examples of large-scale production for the industry currently in the State correspond to bentonite from Municipality of Boa Vista and the limestone from the coast of Paraíba. The collection of data related to these mineral occurrences in the State shows its potential for the development of large-scale mining projects, and, in addition, represents a material guide for the development of academic research.

KEYWORDS: Industrial minerals, Occurrences, Paraíba.

1. INTRODUÇÃO

O Estado da Paraíba se caracteriza com um bom potencial mineral, principalmente, no que se refere a minerais industriais, responsáveis por abastecer de matérias primas indústrias como a de construção civil, cerâmica, cimenteira, entre outras. O termo mineral industrial refere-se a rochas e minerais, normalmente não-metálicos, que por suas propriedades físicas ou químicas, podem ser

utilizados em processos industriais diretamente após sua extração ou após algum tratamento (CIMINELLI, 2003).

Com base em dados do Anuário Mineral Brasileiro mais recente (2010) e disponível, o Estado da Paraíba possui importantes reservas de minerais industriais (Tabela 1).

Tabela 1. Reservas de minerais industriais na Paraíba (ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO - DNPM, 2010).

SUBSTÂNCIA	RESERVAS (t)			
	Medida	Indicada	Inferida	Lavrável
Areia	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Areia Industrial	6.594.380	15.000	25.000	5.809.348
Argilas Comuns	16.699.540	25.093.581	8.000.000	3.818.249
Argilas Plásticas	10.429.417	769.250	-	7.481.812
Argilas Refratárias	12.023.411	25.515	-	1.434.323
Bentonita e Argilas Descorantes	12.937.662	1.884.005	116.679	7.400.831
Calcário (Rochas)	1.419.447.114	528.130.405	989.238.827	860.264.222
Caulim	217.734	216.264	64.673	111.490
Cianita e outros Minerais Refratários	145.036	-	-	145.036
Dolomito	16.664.832	18.314.500	-	16.664.832
Feldspato	32.889.286	444.445	52.312	2.610.855
Filito	171.307.497	-	-	-
Fosfato	1.156.764	1.160.457	-	-
Leucita e Nefelina-Sienito	159.502.847	-	-	111.651.992
Mica	59.962	-	-	12.138
Quartzito Ornamental	3.349.970	-	-	-
Quartzo	2.193.621	522.387	22.387	289.986
Rochas (Britadas) e Cascalho	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Rochas Ornamentais - Outras	17.258.085	-	-	-
Rochas Ornamentais (Granitos e afins)	464.860.263	74.291.023	34.863.422	90.476.833
Talco	3.898.800	-	-	-
Vermiculita e Perlita	1.982.018	596.233	115.352	2.572.251

O principal objetivo deste trabalho é o levantamento dos dados consolidados referentes a essas ocorrências minerais no Estado, o que evidencia seu potencial para do desenvolvimento de empreendimentos mineiros em larga escala, além de configurar como um material-guia para o

desenvolvimento de pesquisas de cunho acadêmico. Sugere-se, adicionalmente, a divisão dessas ocorrências em seis grandes grupos, os quais serão abordados ao longo do trabalho.

2. ARENITOS E AREAIS PARA EXTRAÇÃO DE AREIA E ARGILA

As ocorrências de argilas estão distribuídas por vários polos ao longo da Paraíba. No distrito mineiro de Mataraca, por exemplo, é constituído por depósitos situados na Província Costeira, conexos ao Grupo Barreiras, de idade Tércio-Quaternária. Seguindo em direção ao Sul, ainda na faixa litorânea do Estado, também é possível encontrar ocorrências de argilas no distrito mineiro João Pessoa-Olinda, estando também associados ao Grupo Barreiras e a aluviões (DANTAS, 2002).

Outro polo de destaque refere-se às ocorrências existentes na região do Planalto da Borborema. Geologicamente, correspondem às coberturas recentes de aluviões assentados nos domínios das Formações Seridó e Complexo Presidente Juscelino. Tais depósitos se apresentam, de maneira geral, em forma circular ou oval, concentrando-se nos locais mais baixos do relevo com extensão superficial limitada a diâmetro máximo da ordem de centenas de metros e espessura média de 3 metros (BEZERRA e CARVALHO, 1997).

Os depósitos de areia podem também ser encontrados na faixa do litoral paraibano. Ao norte, na região de Mataraca, as areias brancas, com uma espessura média de três metros, são constituídas por 3 níveis, dos quais os níveis superior e inferior são friáveis e arenosos e encontram-se separados por um nível areno-argiloso mais compacto, localmente conglomerático e de coloração creme. Este material é amplamente aproveitado como subproduto de minerais pesados explotados na região (DANTAS, 2002).

Levando em consideração a região litorânea Sul, a produção de areia é voltada para o abastecimento do polo cimenteiro na região, com destaque para os municípios de Santa Rita, Alhandra, Pitimbu, Pedras de Fogo e Caaporã. Geologicamente, essa área está no Domínio dos sedimentos cenozóicos, relacionados a Tabuleiros, com tais ocorrências associadas ao Grupo Barreiras. Além dessa região, há ainda depósitos associados aos aluviões dos principais rios que compõem a hidrografia do Estado, como o Rio Paraíba e o Rio Piranhas (DANTAS, 2002). A Figura 1 ilustra a distribuição dos processos mineiros relacionados a areia e argila no Estado da Paraíba, baseado nos dados do Cadastro Mineiro - DNPM.

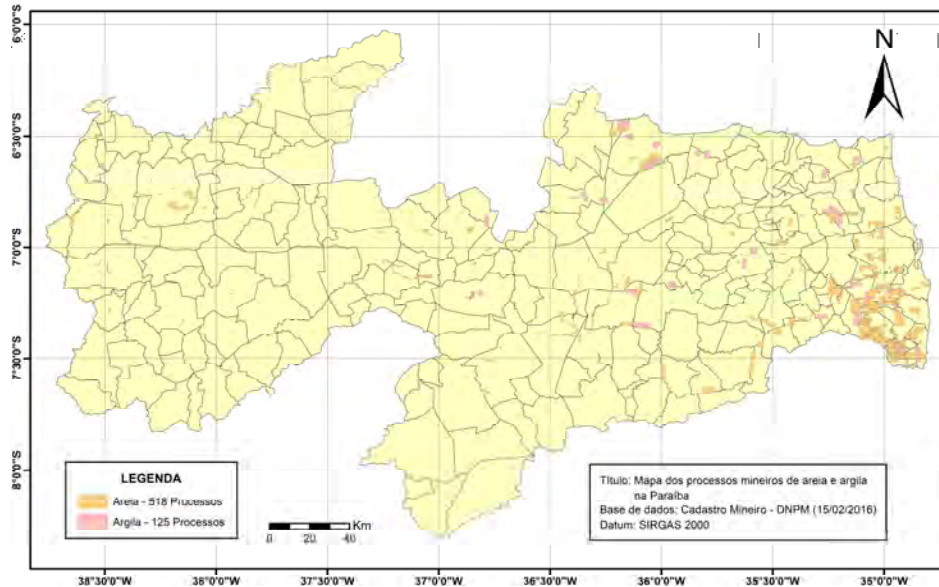


Figura 1. Mapa dos processos mineiros de areia e argila na Paraíba.

3. ROCHAS VULCÂNICAS, SUBVULCÂNICAS E ARGILITOS PARA EXTRAÇÃO DE VERMICULITA E ARGILOMINERAIS

Na Paraíba, as principais ocorrências de argilas bentoníticas, representativas de cerca de 55% das reservas brasileiras (configurando o Estado como a principal reserva do país), situam-se nos municípios de Boa Vista e Cubati, preenchendo páleo-depressões do embasamento pré-cambriano. Geologicamente, estão associadas à Cobertura Vulcano-Sedimentar de Boa Vista de idade terciária, composta de derrames basálticos e um pacote sedimentar, com espessura máxima de 30 metros (SANTOS, FERREIRA e SILVA JR, 2002).

A vermiculita em solo paraibano ocorre no município de Santa Luzia, onde o minério se dispõe em bolsões concordantes, associados a pegmatitos que estão encaixados em biotititos e rochas ultramáficas da Formação Serra dos Quintos. Os bolsões apresentam espessuras variáveis, atingindo até 5m ao longo de uma extensão de aproximadamente 100m (SANTOS, FERREIRA e SILVA JR, 2002). De acordo com Ugarte e Monte (2004), as vermiculitas de Santa Luzia (PB) se compõem de camadas mistas interestratificadas com outras fases mineralógicas como: talco, hidrobiotita, biotita e flogopita. A Paraíba representa o segundo maior estado produtor deste bem mineral, responsável por 7,8% da produção nacional em 2013 (SUMÁRIO MINERAL, 2014). A Figura 2 evidencia os processos mineiros envolvendo a bentonita e a vermiculita no Estado.

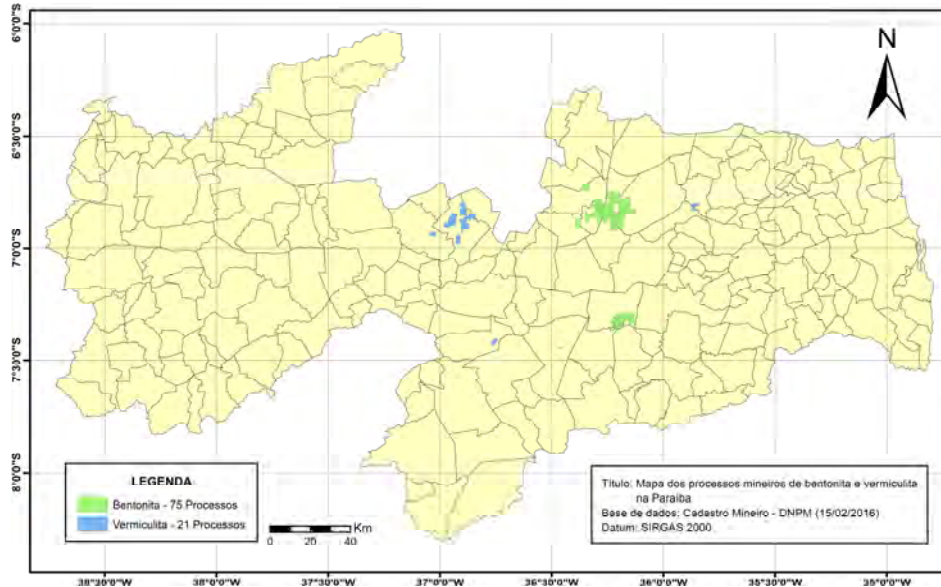


Figura 2. Mapa dos processos mineiros de bentonita e vermiculita na Paraíba.

4. ROCHAS ORNAMENTAIS E DE REVESTIMENTO

Os municípios de Junco do Seridó e Várzea se destacam pelas ocorrências de quartizitos e conglomerados associados a Formação Equador, onde o primeiro possui como fim o seu uso como pedra de revestimento e último para fins ornamentais (BEZERRA e CARVALHO, 1997).

Também situado nessa mesma região da Borborema, inseridos no embasamento da Faixa de Dobramento do Seridó ou cortando as unidades litológicas da Formação Seridó, em forma de maciços arredondados ou ovalados, ocorrem depósitos de granitos, granodioritos, dioritos, gnaisses e migmatitos, que de acordo com sua textura e estrutura são direcionados para serem utilizadas como rochas ornamentais ou então como material para construção civil (DANTAS, 2002)

Outro polo produtor de rochas ornamentais na Paraíba corresponde ao distrito mineiro de Sumé, onde encontram-se migmatitos, gnaisses, granitos e rochas afins que ocorrem, principalmente, no Complexo Gnáissico-Migmatítico (DANTAS, 2002).

Um dos grandes destaques do setor de rochas ornamentais do estado paraibano é o granito Sucuru, que possui rara ocorrência de quartzo de coloração azulada, ocorrendo nas adjacências do município de Serra Branca, com reservas medidas ultrapassando 100.000 m³. Do ponto de vista geológico, essa rocha ornamental trata-se de diques de dacitos porfiritícos azulados, cuja a rocha encaixante é um biotita gnaixe (MENDES, 2002). A Figura 3 explicita a distribuição dos processos mineiros que envolvem rochas ornamentais na Paraíba, de acordo com o DNPM (2016).

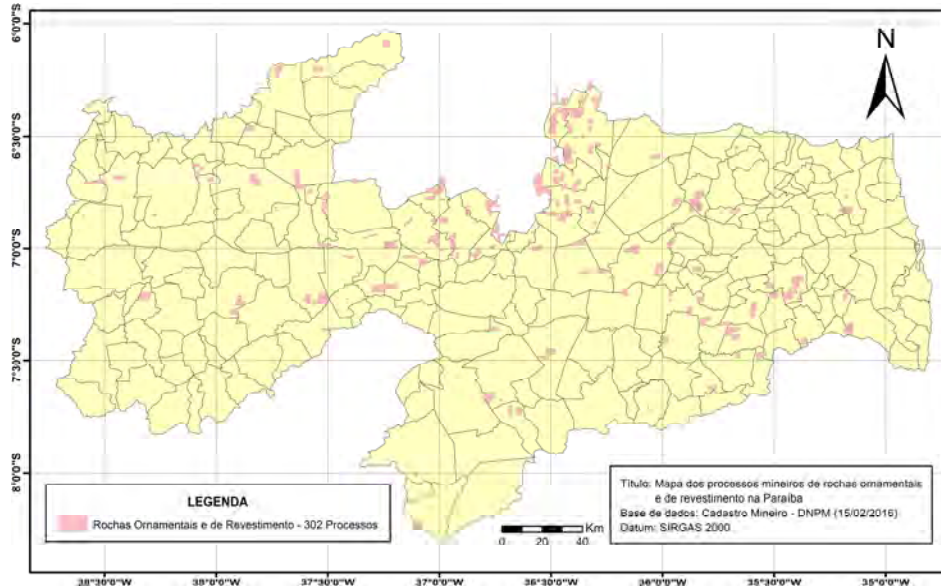


Figura 3. Mapa dos processos mineiros de rochas ornamentais e de revestimento na Paraíba.

5. BRITA E CALCÁRIO PARA CONSTRUÇÃO CIVIL E INDÚSTRIA CIMENTEIRA

A produção de brita na Paraíba fica a cargo de várias pedreiras que estão localizadas principalmente na região entre João Pessoa e Campina Grande, onde há uma maior demanda por esse material. A rocha é explorada *in natura*, sendo materiais provenientes, principalmente, de ortognaisses e migmatitos (SANTOS, FERREIRA e SILVA JR, 2002).

Os calcários da Formação Gramame, compõem a Sequência Carbonata Superior da Bacia Costeira Pernambuco-Paraíba, onde ocorrem, quase sempre, associados aos depósitos de fosfato, e são destinados, principalmente, à indústria cimenteira, com relevância para os municípios de Alhandra, Caaporã e Conde (DANTAS, 2002; SANTOS, FERREIRA e SILVA JR, 2002).

Nas regiões dos distritos mineiros de Boa Vista (PB)-Gravatá (PE) e de Serra Talhada-Patos-Sumé, encontram-se depósitos de mármore, que ocorrem intercalados com gnaisses e migmatitos, (DANTAS, 2002; SANTOS, FERREIRA e SILVA JR, 2002). A Figura 4 ilustra os processos mineiros envolvendo a brita e o calcário na PB.

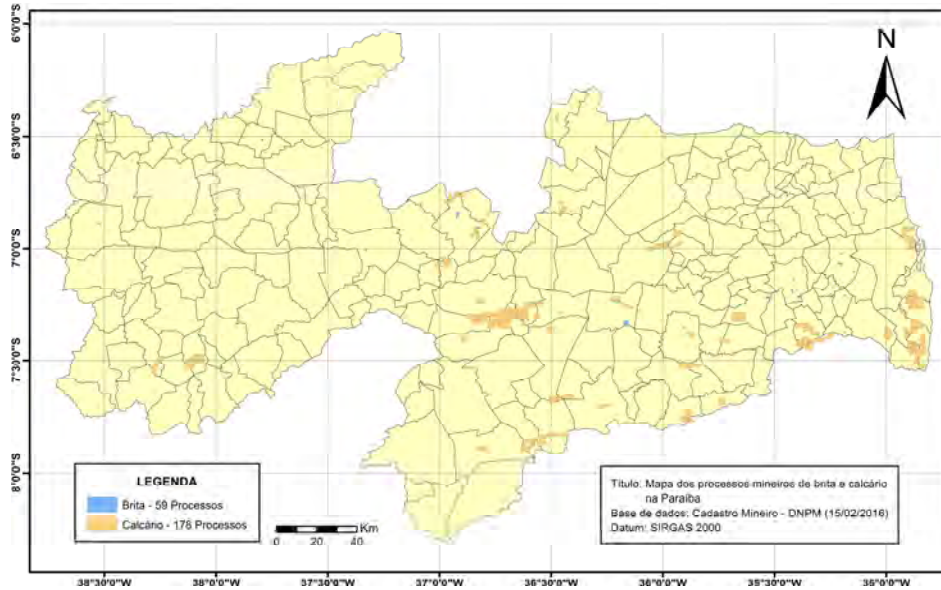


Figura 4. Mapa dos processos mineiros de brita e calcário na Paraíba.

6. MINERAIS INDUSTRIAIS DE PEGMATITOS

As ocorrências de minerais industriais associadas aos pegmatitos na Paraíba, como o feldspato, quartzo, mica e caulim, se concentram na Província Pegmatítica da Borborema, localizada no Seridó do Estado. Do ponto de vista geológico, essa região de interesse encontra-se na Faixa de Dobramento Seridó, onde o embasamento gnáissico-migmatítico é recoberto pela sequência meta-vulcano-sedimentar representativa do Grupo Seridó (DANTAS, 2002).

As principais ocorrências de minerais industriais se dão nos pegmatitos heterogêneos, que encontram-se, normalmente, associados a xistos e gnaisses da Formação Seridó e a quartzitos da Formação Equador. Assim sendo, nos pegmatitos heterogêneos, de forma geral, o quartzo se situa na zona central, os feldspatos na porção intermediário e a mica nas bordas, além do caulim, que ocorre na zona correspondente ao feldspato, sendo esse um produto de alteração do último (BEZERRA e CARVALHO, 1997). Além desses principais citados, outros minerais industriais, como berilo e espodumênio, ocorrem mineralizados nos pegmatitos da região.

As principais ocorrências e explorações referentes a feldspatos e quartzo na Paraíba correspondem aos municípios de Nova Palmeira, Frei Martinho e Pedra Lavrada. Já o município de Junco do Seridó se sobressai com relação ao caulim beneficiado. Outros municípios da região, como Juazeirinho e Pedra Lavrada, também contam com ocorrências de caulim, mas com menor destaque em comparação a Junco do Seridó (BEZERRA, 2009; SANTOS, FERREIRA e SILVA JR, 2002). As reservas

de mica se concentram, principalmente, nos municípios de Nova Palmeira, Pedra Lavrada e Picuí (SUMÁRIO MINERAL, 2014).

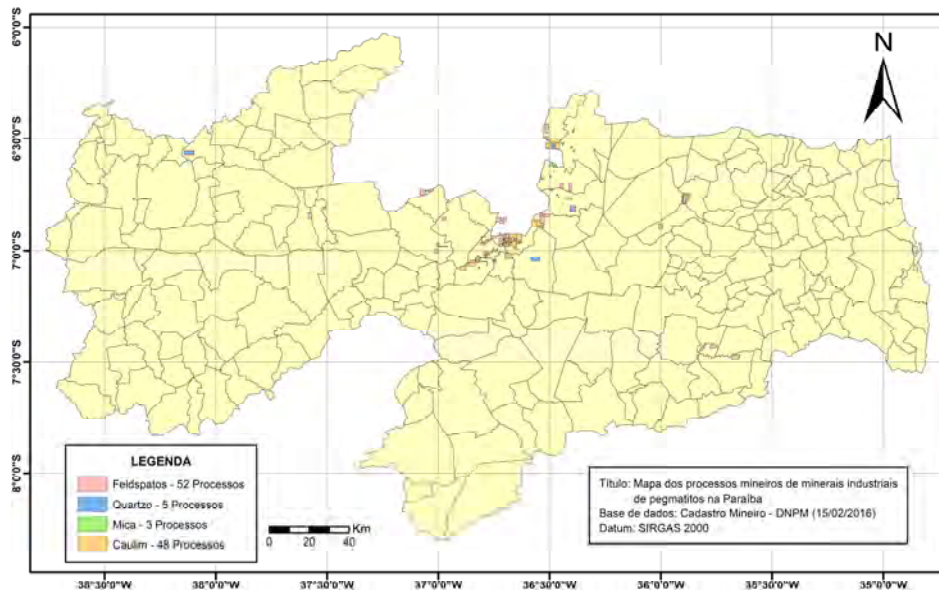


Figura 5. Mapa dos processos mineiros dos minerais industriais de pegmatitos e calcário na Paraíba.

7. OUTRAS OCORRÊNCIAS DE MINERAIS INDUSTRIAIS

A Paraíba conta ainda com depósitos de fosforita na faixa litorânea do Estado, na Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba. Tais depósitos de fosfato, únicos no Brasil de origem sedimentar que podem ser explorados economicamente, ocorrem na interface dos arenitos da Formação Beberibe com os calcários da Formação Gramame. Estes formam uma camada contínua que se prolonga por cerca de 150 km, ao longo de toda a faixa costeira situada entre João Pessoa (PB) e Recife (PE), com espessura média em torno de 1,2m e com capeamento variando entre 1,5 a 70m (BARBOSA e LEMOS, 2001; DANTAS, 2002).

Outra substância mineral presente no Estado é a apatita, que ocorrem hospedadas em rochas calcissilicáticas, encaixadas de forma concordante em ortognaisses do Complexo Sumé. A apatita ocorre disseminada em rochas de composição quartzo-feldspática, que formam lentes ou bolsões de espessura variada (SANTOS, FERREIRA e SILVA JR, 2002).

Por último, ocorrências de filito na Paraíba são abundantes no Grupo Cachoeirinha, que constitui a unidade litoestratigráfica neoproterozoica da Faixa Piancó-Alto Brígida. Algumas ocorrências na região de Patos são exploradas para uso cerâmico (SANTOS, FERREIRA e SILVA JR, 2002). A Figura 6 mostra a localização dos processos mineiros associados a esses 3 bens minerais em solo paraibano, assim como as reservas do fosfato e do filito constam na Tabela 1.

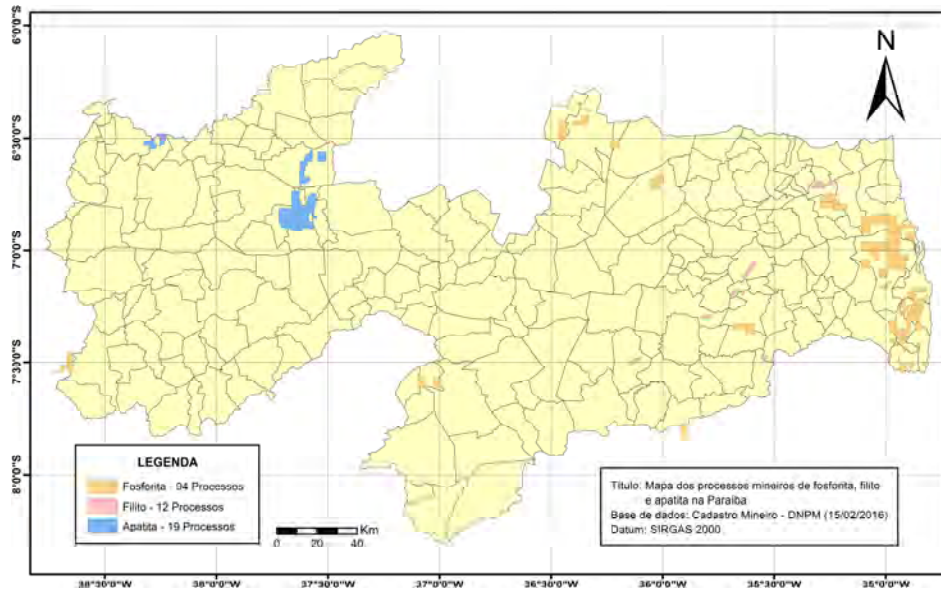


Figura 6. Mapa dos processos mineiros de fosforita, filito e apatita na Paraíba.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, A. J.; LEMOS, L. B. S. G. **Fosfato de Miriri - estados de Pernambuco e Paraíba**. Recife, CPRM, 2001.
- BEZERRA, M. S.; CARVALHO, V. G. D. **Minerais e rochas industriais da região do Seridó-PB/RN**. Recife, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Recife, 1997.
- BEZERRA, M. S. **Coord. Plano de Desenvolvimento Preliminar - PDP: Arranjo Produtivo Local de minerais de pegmatito do Rio Grande do Norte e Paraíba**. CCT, 2009.
- CIMINELLI, R. R. **Recursos minerais industriais**. In: Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil, Cap. IX. Brasília, 2003.
- DANTAS, J. R. A. **Distritos mineiros do nordeste oriental**. Programa Nacional de Distritos Mineiros. Recife, DNPM 4º Distrito, 2002.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. **Anuário Mineral Brasileiro 2010**. Brasília, DNPM/MME, 2010.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. **Sumário Mineral 2014**. Brasília, DNPM/MME, 2014.
- MENDES, V. A. Os jazimentos de rochas ornamentais e sua relação com os eventos tectônicos atuantes no território brasileiro. **Anais do III Simpósio de Rochas Ornamentais do nordeste**. Recife, p. 93-98, 2002.
- SANTOS, E. J.; FERREIRA, C. A.; SILVA JR., J. M. **Geologia e recursos minerais do estado da Paraíba**. Brasília: CPRM, 2002.
- UGARTE J. F. O.; MONTE, M. B. M. **Caracterização Tecnológica e Aplicações de Vermiculitas Brasileiras**. Relatório Técnico Final. Rio de Janeiro: CETEM, 2004.

SÍNTESE DAS PRINCIPAIS OCORRÊNCIAS MINERAIS DE PEGMATITOS NO SERIDÓ (PB-RN)

*Lauro César M. L. Santos¹, Fabrício F. Vieira², Elissandra N. Moura¹, Vandrielle A. Genuíno³,
Emerson Diego G. Sales³*

¹Unidade acadêmica de mineração e geologia - UFCG

²Programa de Pós graduação em exploração mineral e petrolífera - UFCG

³Estudante de graduação - UFCG

fabrciofv@terra.com.br

RESUMO

A região do Seridó abrange rico conteúdo mineral, envolvendo grande parte dos minerais industriais produzidos no Brasil, tendo sua vocação econômica comprovada desde a II guerra mundial. Geologicamente, esta região abrange rochas da Província Pegmatítica do Seridó (PPS), a qual encontra-se encaixada em rochas paraderivadas da Faixa Seridó, Domínio Rio Grande do Norte da Província Borborema. A estruturação dessa região é fortemente controlada pelo Lineamento Patos, de caráter transcorrente dextral e por zonas de cisalhamento transcorrentes sinistrais e dextrais secundárias de direção NE-SW e N-S. Essa trama regional condiciona fortemente rochas da Faixa Seridó, além de controlar sítios transtracionais, os quais registram o alojamento de diversos corpos pegmatíticos da PPB. Trabalhos de reconhecimento recentes têm demonstrado o significado de controles geológicos condicionantes de diversas mineralizações ao longo de alguns desses corpos. Destaque pode ser dado para a região que compreende as proximidades dos municípios de Pedra Lavrada e Junco do Seridó na Paraíba e Carnaúba dos Dantas e Parelhas no Rio Grande do Norte, na qual importantes ocorrências minerais tem sido exploradas comercialmente por pequenas empresas mineradoras da região. Nas cercanias desses municípios, foram mapeados em detalhe (1:2.500) cinco corpos pegmatíticos e documentadas as principais ocorrências minerais associadas. Estes são os pegmatitos i) Taboa (turmalina, granada e quartzo rosa), ii) Alto do Feio (quartzo rosa, turmalina, apatita e granada), iii) Alto do Boqueirão (turmalinas e granadas), iv) Alto da Serra Branca (elbaítas e fosfato) e v) Galo Branco (feldspatos e caulim). Aparentemente, a maioria dessas rochas corresponde a pegmatitos heterogêneos com

zoneamento mineral da borda para o núcleo bem definido, entretanto algumas feições sugerem evidências de ocorrência de sítios de pegmatitos homogêneos.

PALAVRAS-CHAVE: Pegmatitos, Província Pegmatítica do Seridó, NE do Brasil.

ABSTRACT

The Seridó region covers a plenty of mineral resources, involving most of industry minerals produced in Brazil, having its economic vocation known as the World War II. Geologically, this region is composed of rocks of the Seridó Pegmatitic Province, which is located in the Rio Grande do Norte Domain of the Borborema Province. Its structure is strongly controlled by the E-W Patos Lineament and other NE-SW and N-S shear zones. This regional fabric control extensional sites. Recent works have demonstrated the meaning of geological controls on the mineralization along most of pegmatitic bodies. The Pedra Lavrada and Junco do Seridó region in the Paraíba State and the vicinity of Carnauba dos Dantas on Rio Grande do Norte can be highlighted, once it concentrate several mineral occurrences explored by mining companies. On the vicinity of these towns, five similar pegmatitic bodies were mapped in the 1:2.500 scale, including the Record of its mineral occurrences. They are: i) Taboa (tourmaline, garnet and rose quartz), ii) Alto do Feio (rose quartz, tourmaline, apatite and garnet), iii) Alto do Boqueirão (tourmaline and garnet), iv) Alto Serra Branca (elbaite and phosphates) and v) Galo Branco (feldspars and kaolin). Apparently, most of these rocks correspond to heterogeneous pegmatites with well defined mineral zoning from the rim to the core. However some features suggest the evidence of homogeneous pegmatitic sites.

KEYWORDS: Pegmatites, Seridó Pegmatitic Province, NE Brazil.

1. INTRODUÇÃO

A Província pegmatítica do Seridó corresponde a um importante distrito mineiro localizado no nordeste do Brasil entre os estados da Paraíba e Rio Grande do Norte (Santos et al., 2014). Esta província é caracterizada por importantes ocorrências minerais, que incluem diversos minerais com aplicação industrial tais como micas, quartzo, feldspato e caulim, além de amplo conteúdo gemológico o qual é conhecido mundialmente, tais como águas-marinhas e turmalinas elbaítas, incluindo a famosa turmalina Paraíba de São José da Batalha (PB).

Estudos recentes de mapeamento geológico de detalhe têm dado importância ao zoneamento mineral de corpos pegmatíticos desta região, principalmente nos pegmatitos que ocorrem nas adjacências do município de Pedra Lavrada (PB). O controle das mineralizações é normalmente definido em função de regiões propensa a ocorrência de minerais de afinidade geoquímica e petrológica, similares a pegmatitos descritos como heterogêneos na literatura internacional (London, 2008 e referências ali contidas).

O principal objetivo deste trabalho é descrever algumas das mais importantes ocorrências minerais no contexto da Província Pegmatítica do Seridó, NE do Brasil

2. A PROVÍNCIA PEGMATÍTICA DO SERIDÓ

A Província Pegmatítica do Seridó encontra-se inserida na Faixa Seridó do Domínio Rio Grande do Norte (Figura 1), que por sua vez está localizada na porção setentrional da Província Borborema. Esta última, foi definida por Almeida et al. (1981) como uma entidade tectônica neoproterozoica que ocupa a porção oriental do nordeste brasileiro, tendo sido consolidada pela convergência dos crátons São Francisco-Congo e São Luís-Oeste África durante o ciclo orogênico Brasileiro-Pan-africano.

Regionalmente, o domínio Rio Grande do Norte é composto por várias seqüências de rochas gnáissicas e migmatíticas arqueanas e paleoproterozoicas, incluindo os terrenos ou subdomínios Jaguaribeano, Rio Piranhas e São José do Campestre, os quais são intrudidos por diversos granitos ediacaranos relacionados ao ciclo orogênico Brasileiro (Brito Neves et al. 2000). Este domínio é limitado pelos domínios Ceará Central ao norte e Transversal ao sul pela zona de cisalhamento Senador Pompeu e pelo Lineamento Patos, respectivamente.

Ao longo deste distrito mineiro, diversas ocorrências de corpos pegmatíticos são conhecidas, incluindo Fortuna, Mourão, Costume, Taboa, Serra Branca, Alto do Feio dentre outros.

Entre estes, destacam-se pegmatitos que possuem zoneamento mineral bem caracterizado por zonas de bordas com mineralizações disseminadas e bolsões homogêneos no seu interior, tendo sido descritos por Johnston Jr (1945) como pegmatitos heterogêneos.

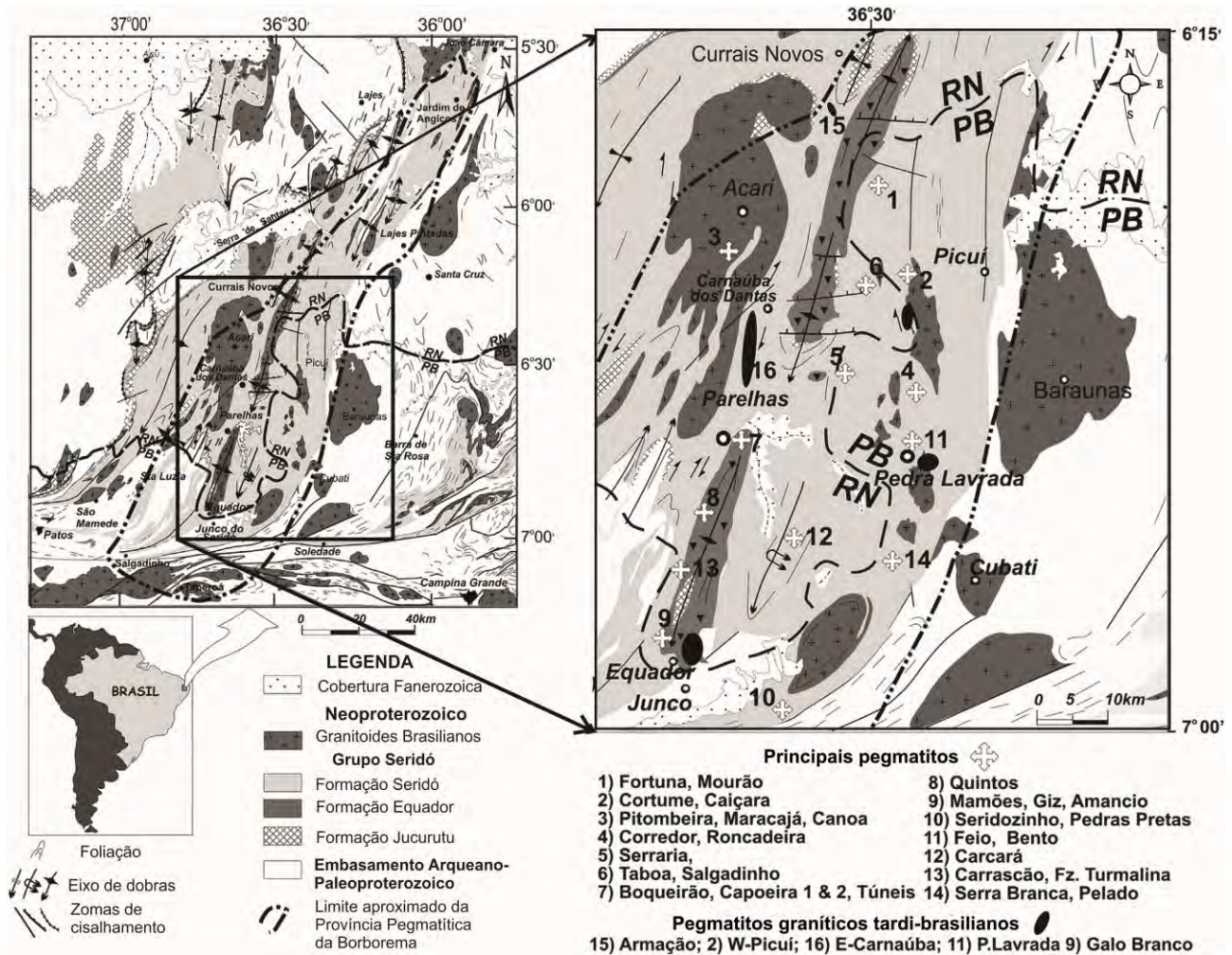


Figura 1 – Mapa geológico da região da PPS com a localização dos principais pegmatitos mineralizados, modificado de Buerlen et al., (2014).

3. ZONEAMENTO E OCORRÊNCIAS MINERAIS

Os pegmatitos heterogêneos da província têm sido recentemente descritos em função da sua distribuição heterogênea de mineralização de forma similar ao que acontece em diversas províncias pegmatíticas ao redor do mundo, como descreve London (2008).

Têm se reconhecido três grupos de zonas minerais principais em diversos corpos pegmatíticos que se distribuem em: i) zonas de borda, ii) zonas intermediárias e iii) núcleo homogêneo

As zonas de bordas ou de contato são marcadas pela interação dos pegmatitos com as rochas encaixantes, as quais são normalmente representadas por biotita xistos ou granada-biotita xistos da Faixa Seridó (Figura 2A). É comum a presença de xenólitos de rochas supracrustais exibindo bordas de reação com regiões aplíticas dos corpos pegmatíticos. Esta região é ainda caracterizada por texturas extremamente grossas, concentrando ocorrências centimétricas a métricas de feldspatos albiticos, quartzo e muscovita. Níveis caulínicos intensos resultantes da alteração secundária dos feldspatos é também comum em apenas alguns corpos (Figura 2b). Adicionalmente, minerais com importância gemológica tendem a se concentrar nessa região incluindo berilos na variedade água marinha (Figura 2c) e turmalinas elbaítas, além de granada disseminada.

As zonas intermediárias são caracterizadas pela diminuição sistemática da granulometria da rocha formando uma textura fanerítica mais fina. Do ponto de vista econômico, estas regiões tendem a ser estéreis, concentrando apenas quartzo e feldspato potássico desenvolvendo intercrescimento gráfico, o qual é comumente interpretado como resultado de eventos de desequilíbrio químico nos últimos estágios da cristalização fracionada (Fenn, 1986).

Por fim, as zonas de núcleo são majoritariamente caracterizadas por quartzo leitoso, podendo ocorrer as variações citrino e murion. Eventualmente, cristais de muscovita radial (Figura 2d) são freqüentemente observados, além de ocorrências menores de turmalina na variedade schorlita.

Entretanto, é importante ressaltar que alguns destes corpos são homogêneos ou mistos, possuindo um ou mais bolsões de núcleo de quartzo ou escassos com relação à núcleos. Nestes corpos o entendimento da distribuição mineral é mais complexo e representa alvo de pesquisas futuras.



Figura 2 – Aspectos de campo dos pegmatitos estudados. a) Relação entre os xistos encaixantes e pegmatito, b) extração de caulim, c) berilo esverdeado e d) muscovita radial em zona de núcleo homogêneo de quartzo.

4. CONCLUSÕES

As conclusões deste trabalho podem ser assim sumarizadas:

- Os pegmatitos heterogêneos que se concentram na Província Pegmatítica do Seridó possuem zoneamento mineral característico similar a diversos distritos pegmatíticos conhecidos ao redor do mundo;

- Estas zonas são divididas em i) zonas de borda, ii) zonas intermediárias e iii) zonas de contato;

- A mineralogia é mais variada da borda pro centro, concentrando uma maior heterogeneidade nas zonas de contato com as rochas encaixantes, incluindo feldspatos, quartzo, E minerais gemológicos com berilos e turmalinas, enquanto que o centro é caracterizado por regiões

homogêneas com quartzo de colorações variadas, entretanto, podendo conter ainda outros minerais de forma disseminada;

- A identificação de zonas mineralizadas nos diversos corpos pegmatíticos representa uma ferramenta geológico-prospectiva importante para uma melhor orientação para trabalhos de extração destes bens minerais.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F.M., BRITO NEVES, B.B., FUCK, R.A. 1981. Brazilian structural provinces: **An introduction. *Earth Science Review*, 17: 1-19.**

BEURLEN, H., THOMAS, R., DA SILVA, M.R.R., MULLER, A., RHEDE, D., SOARES, D.R. 2014. Perspectives for Li- and Ta-Mineralizations in the Borborema Pegmatite Province, NE Brazil: A review. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol 56: 110-127.

BRITO NEVES, B.B., SANTOS, E.J., VAN SCHMUS, W.R. 2000. Tectonic history of the Borborema Province. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. (Eds) *Tectonic evolution of South America. International Geological Congress* p. 151-182.

FENN, P.M. 1986. On the origin of graphic granite. *American Mineralogist*, Vol 71: 325-330.

JOHNSTON JR, W.D. 1945. Beryl-tantalite pegmatites of Northeastern Brazil. *Geological Society of America Bulletin*, Vol 56: 1015-1070.

LONDON, D. 2008. Pegmatites. *Canadian Mineralogist Special Publication*, Vol 10: 368p.

SANTOS, E.J., SOUZA NETO, J.A., SILVA, M.R.R., BEURLEN, H., CAVALCANTI, J.A.D., SILVA, M.G., COSTA, A.F., SANTOS, L.C.M.L., SANTOS, R.B. 2014. Metalogênese das porções norte e central da Província Borborema. In: Silva, M.G, Neto, M.B.R., Jost, H., Kuyumijan, R.M. (Eds) **Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras**. CPRM p. 343-388.

MAPEAMENTO GEOLÓGICO DE DETALHE DO PEGMATITO ALTO DO FEIO, REGIÃO DE PEDRA LAVRADA, SERIDÓ PARAIBANO

Vandriele Alves Genuíno¹, Lauro César Montefalco de Lira Santos², Fabrício Fernandes Vieira³

¹ Estudante de graduação, UFCG

² Professor, UFCG

³ Estudante de pós-graduação, UFCG

vandrielegenuino@hotmail.com

RESUMO

O pegmatito Alto do Feio ocorre nas adjacências do município de Pedra Lavrada (Paraíba), com uma forma alongada na direção NE-SW. Regionalmente, esta rocha pertence a Província Pegmatítica da Borborema, ocorrendo na porção sul do Domínio Rio Grande do Norte da Província da Borborema. Estudos de campo e mapeamento geológico de detalhe (1:2.500) revelaram que este pegmatito encontra-se encaixado em xistos e paragneisses deformados ductilmente da Formação Seridó. Seções geológicas esquemáticas transversais a direção principal do corpo indicou que o pegmatito é claramente zonado, tendo sua distribuição mineral bem definida em três regiões principais da borda para o centro: i) zona de borda (composto por feldspato e em menores concentrações turmalina, apatita, granada e mica), ii) zona de margem de núcleo (apresentando cristais de quartzo e feldspato formando textura gráfica e concentrações de apatita e granada) e iii) núcleo homogêneo (composto principalmente de quartzo). Este corpo é ainda cortado por diversas fraturas de atitude vertical à sub-vertical, as quais são responsáveis por injeções de veios de quartzo. A presença de zonas de borda e um núcleo homogêneo de quartzo, permitiu classificar o pegmatito Alto do Feio como heterogêneo. Apesar da crescente exploração de quartzo e feldspatos nesta região, este pegmatito é portador de outros minerais economicamente importantes, tais como micas (principalmente moscovita), turmalinas e granada.

PALAVRAS-CHAVE: Pegmatitos, Província Pegmatítica da Borborema, Pegmatito Alto do Feio, NE do Brasil.

ABSTRACT

The pegmatite *Alto do Feio* occurs in the vicinity of *Pedra Lavrada* city (Paraíba), with an elongated form towards NE-SW direction. Regionally, this rock belongs to the *Borborema* Pegmatite Province, occurring in the south portion of the *Rio Grande do Norte* Domain. Field studies and detailed geological mapping (1:2500) revealed that this pegmatite is hosted in ductile deformed schists and paragneiss from *Seridó* Formation. Transverse schematic geological sections to the principal strike of the body indicated that the pegmatite is clearly zoned, having its mineral distribution well defined in three main regions from the border to the center: i) border zone (composed by feldspar and, in a minor concentration, tourmaline, apatite, garnet and mica), ii) core margin zone (presenting quartz crystals and feldspar forming a graphic texture and concentrations of apatite and garnet) and iii) homogeneous core (composed mainly by quartz). This body is also cut by many fractures with vertical to sub-vertical attitude that are responsible for injections of quartz veins. The presence of border zones and a homogeneous quartz core allowed categorize *Alto do Feio* Pegmatite as heterogenic. Despite the increasingly quartz and feldspar exploration in this region, this pegmatite hosts other economically important minerals, such as micas (mainly muscovite), tourmalines and garnet.

KEYWORDS: Pegmatites, *Borborema* Pegmatite Province, pegmatite *Alto do Feio*, NE Brazil.

1. INTRODUÇÃO

A área de estudo localiza-se nas proximidades do município de Pedra Lavrada (Paraíba). Ela encontra-se a uma distância de 232 Km da capital João Pessoa. Este município encontra-se na região centro-norte do Estado da Paraíba, mais precisamente na mesorregião da Borborema e na microrregião do Seridó Oriental deste estado.

A região de Pedra Lavrada e adjacências concentram um grande número de corpos pegmatíticos que são potencialmente mineralizados em diversas espécies minerais, com destaque para: feldspato, quartzo, granito gráfico, também conhecido como prego, tantalitas, berilos, micas (muscovita e biotita) e gemas (Vasconcelos, 2006). Como exemplo, destacam-se os pegmatitos do Manoel Paulo, Tanquinho, Pendanga, Sino, Serra Branca e Alto do Feio (foco da presente pesquisa), os quais são explorados desde da década de 1930.

2. OBJETIVOS

Realizar uma pesquisa mineral de superfície no pegmatito Alto do Feio para melhor conhecer seus controles geológicos e perspectivas econômicas, tendo em vista a importância dos pegmatitos do ponto de vista geológico e econômico, e poucos são os trabalhos existentes sobre essas rochas na região de Pedra Lavrada, que tratam de forma integrada da estratigrafia e dos diversos minerais-gemas que nela ocorrem.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Pegmatitos

Os pegmatitos são rochas ígneas formadas através da cristalização de magmas graníticos residuais enriquecidos em fundentes (Johnston 1945; Jahns, 1955). Comumente, possuem textura holocristalina, além de inequigranulares e faneríticas. Sua principal característica textural é a granulação grossa evidenciada por cristais de escala centimétrica a métrica, resultado de um lento esfriamento magmático.

Johnston (1945) classificou os pegmatitos do ponto de vista de distribuição mineral. Este autor agrupa pegmatitos graníticos em dois tipos principais: a) Homogêneos e b) Heterogêneos. Pegmatitos homogêneos apresentam como minerais essenciais quartzo, feldspato e mica distribuídos regularmente ao longo da rocha, possuem formas tabulares com granulometria dos minerais variando de centímetro a decímetro e raramente são cristaliados. Esses são normalmente extraídos em forma de blocos para fins de rochas ornamentais. Por outro lado, pegmatitos heterogêneos possuem minerais em formas lenticulares, arredondados ou em forma de disco achatado dispostos de maneira irregular formando estruturas em zonas. São caracterizados por uma maior variedade mineralógica.

Existem ainda os pegmatitos mistos, que apresentam características intermediárias com respeito aos homogêneos e heterogêneos. É feição distintiva deste tipo de pegmatitos bolsões de quartzo ao longo de todo o corpo mineralizado. Esses, assim como os pegmatitos heterogêneos, são as principais fontes de quartzo, feldspato e micas para aplicação na indústria, em função de sua ocorrência zonada, caracterizada por grandes bolsões enriquecidos em quartzo e feldspato.

3.2 Província Pegmatítica da Borborema

Essa Província foi originalmente denominada de Província Pegmatítica da Borborema por Scorza (1944) para designar a principal área de ocorrência de pegmatitos mineralizados no Nordeste do Brasil, situada entre os Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte.

Os pegmatitos da PPB estão concentrados em uma área com cerca de 75km x 150Km, na parte este-sudeste da faixa Seridó (FS), Subprovincia Rio Grande do Norte da Província Borborema, compreendendo partes dos Estados da Paraíba e Rio grande do Norte, Nordeste do Brasil. O empilhamento estratigráfico nesta área, da base para o topo, consiste das Formações Jucurutu, Equador e Seridó, do Grupo Seridó de idade neoproterozoica (Van Schmus et al. 2003).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O pegmatito Alto do Feio ocorre nas adjacências do município de Pedra Lavrada, com uma forma alongada na direção NE-SW, sendo encaixado em rochas da Faixa de dobramentos Seridó, interpretadas como rochas encaixantes do pegmatito (Figura 1).

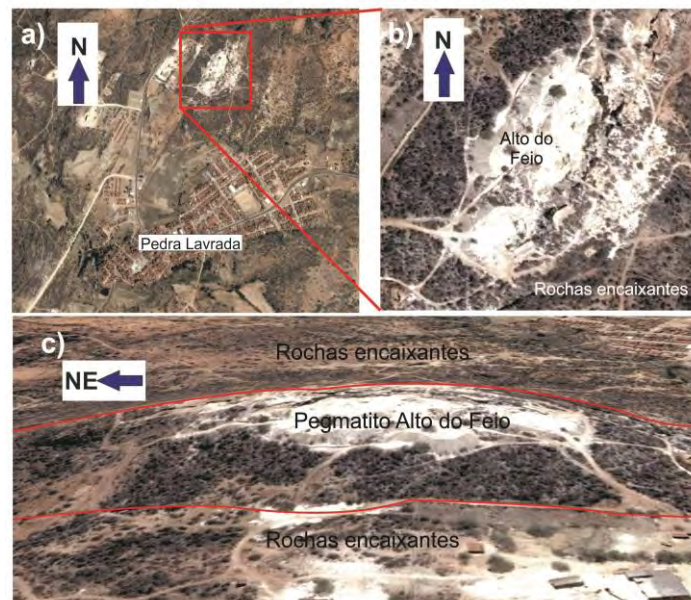


Figura 1 - Imagem aérea da região em estudo. (a) Pegmatito Alto do Feio nas proximidades de Pedra Lavrada, (b) Foco em Alto do Feio. (c) Pegmatito e rochas encaixantes.

Durante o presente trabalho, foi realizado mapeamento geológico, em uma escala de detalhe (escala 1:2.500). O mapa geológico confeccionado da área de trabalho pode ser observado na figura 2. Localmente, o pegmatito alto do feio ocorre associado a rochas encaixantes da Faixa de dobramentos Seridó. Ambos possuem um trend estrutural de direção NE-SW.

Faturas de direção N-S, NE-SW e NW-SE também foram observadas no campo e são interpretadas no presente trabalho como estruturas posteriores, uma vez que cortam tanto rochas encaixantes, quanto o pegmatito (Figura 2).

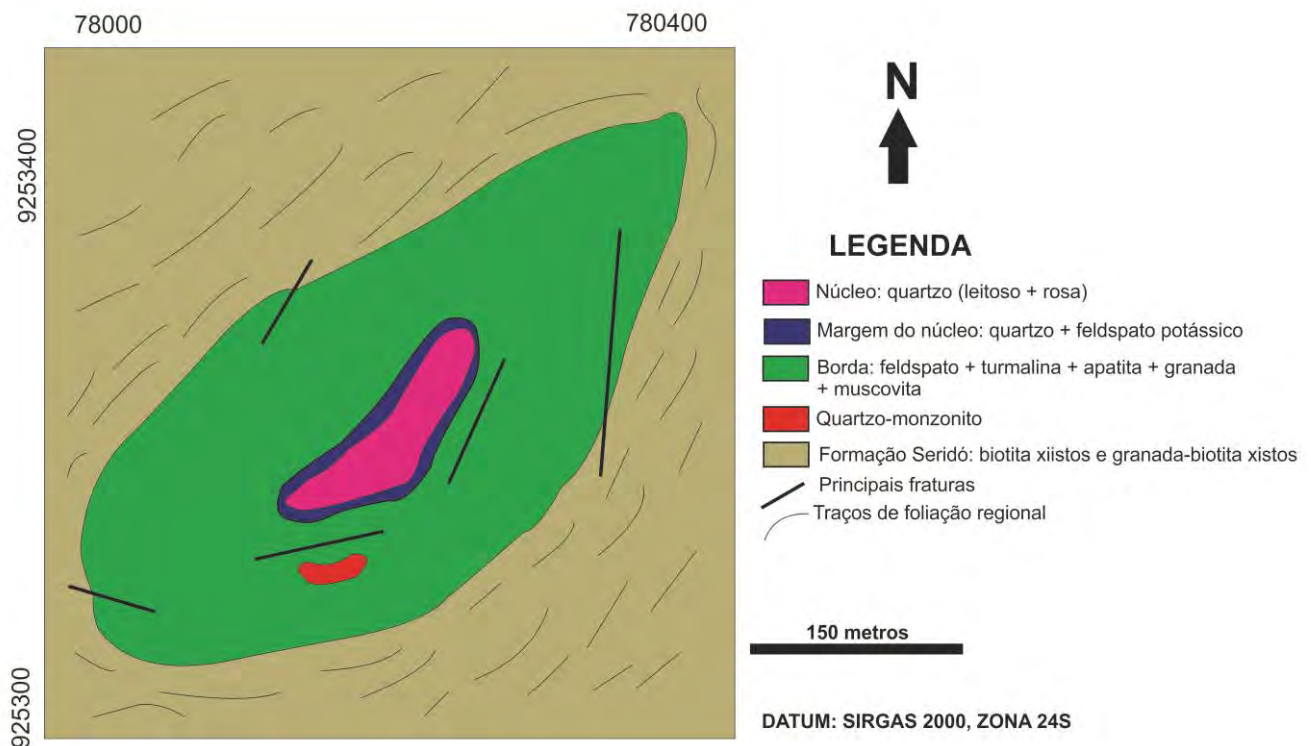


Figura 2 - Mapa geológico de detalhe do pegmatito Alto do Feio e rochas encaixantes.

Análise dos afloramentos relacionados ao pegmatito Alto do Feio e rochas encaixantes, demonstrou a presença de importante controle estrutural dessas rochas, onde abrange estruturas de caráter dúctil, que ocorrem principalmente nos xistos encaixantes e nas porções mais externas do pegmatito Alto do Feio. E falhas e fraturas locais, correspondendo a um regime rúptil, ocorrendo principalmente na zona de borda e margem de núcleo do pegmatito (figura 3).

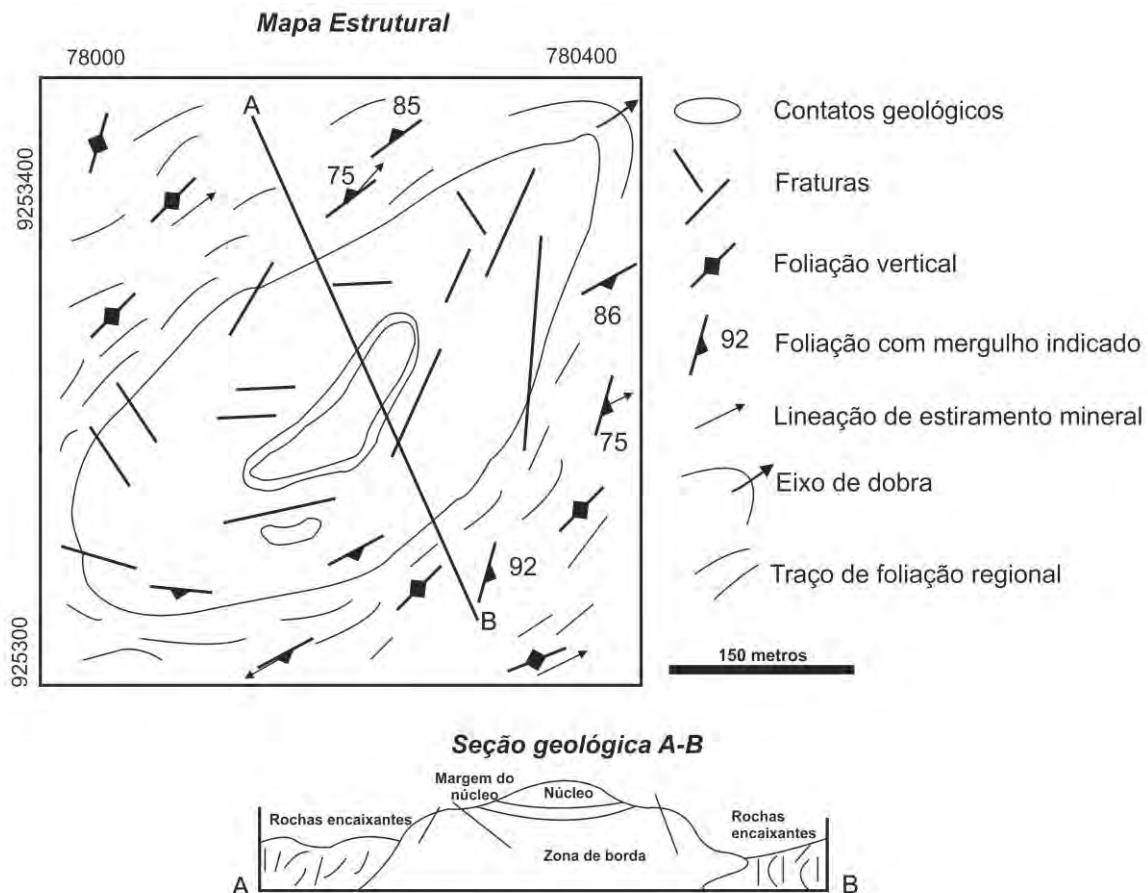


Figura 3 - Mapa estrutural do pegmatito Alto do Feio e adjacências e seção geológica esquemática A-B (NW-SE).

4.1 Rochas Encaixantes

Na área de estudo ocorrem rochas metassedimentares da Formação Seridó do Grupo homônimo. Essas rochas apresentam textura lepidoblástica com lamelas de biotita que acompanham as principais direções da foliação regional (Figuras 4(a) e (b)).

As ocorrências observadas no campo correspondem a micaxistos feldspáticos, podendo ocorrer como biotita Xistos ou granada-biotita Xistos com a presença de aluminossilicatos (não identificados em amostra de mão). Por outro lado, outras litologias como calcissilicáticas, paragneisses e rochas metavulcânicas não foram observadas na área de estudo. É comum nos pontos visitados a presença de cristais de micas (principalmente biotitas) que sofreram microdobramento, o que contribuem para a formação da textura xistosa, podendo ocorrer como crenulação. Essas rochas afloram em toda a borda do pegmatito Alto do Feio, sendo interpretada no presente trabalho como sua porção encaixante.



Figura 4 (a) e (b) - Aspectos de campo da rocha encaixante (biotita-xisto) do pegmatito Alto do Feio.

4.2 Pegmatito Alto do Feio

Com base na presente pesquisa, foi identificado que esse corpo pegmatítico encontra-se claramente encaixado em xistos da Faixa de dobramentos Seridó. Foi definido no presente trabalho a nível de afloramento três zonas minerais principais: i) Zona de borda, ii) zona marginal de núcleo e iii) Núcleo o que possibilita a sua classificação como pegmatito heterogêneo.

- Zona de borda – Caracterizada pela granulação grossa e cristais bem desenvolvidos variando da escala centimétrica à métrica, caracterizando textura pegmatítica. A mineralogia presente nesta zona é constituída por feldspato, com predominância de plagioclásio e em menores concentrações turmalina, apatita, granada, muscovita e feldspato potássico (figura 5).



Figura 5 - Zona de borda com presença de feldspato, turmalina, apatita, granada, muscovita.

- Núcleo de quartzo – Localizado na parte central do corpo pegmatítico, é constituído por uma massa sólida de quartzo com variações da cor róseo para o leitoso. É perceptível a predominância de quartzo róseo no centro e quartzo leitoso ocupando a porção mais externa. Em menor escala é também observável a presença de cristais disseminados plagioclásio, cristais pirolusita com hábito dendrítico (típico de minérios de Mn), variedade clavelandita de plagioclásio, representando uma fase mais sódica (figura 6) e geodos com sílica amorfa nas bordas.



Figura 6 - Núcleo de quartzo, clavelandita.

- Zona de margem do núcleo – Essa região foi definida como uma região intermediária de contato entre o núcleo e a borda do pegmatito. A feição marcante principal dessa região é a presença de uma granulação média, caracterizada pela ocorrência de textura gráfica visível a olho desarmado. Essa textura é evidenciada pela ocorrência de cristais de quartzo e feldspato com hábitos "vermiformes" (figura 7). Nesta região, concentra-se cristais de apatita e granada. Caulim ocorre localmente como resultado da alteração intempérica do feldspato. Adicionalmente, em regiões onde a rocha ocorre fraturada, ocorrem cristais de sílexito (sílica amorfa).



Figura 7 - Margem do núcleo, textura gráfica.

Por fim, foi identificada uma lente de granitoide de coloração escura. Trata-se de uma rocha com textura média, predominantemente fanerítica e inequigranular. Essas feições indicam um lento resfriamento do magma envolvido, típico de rochas graníticas.

Macroscopicamente, sua mineralogia é composta por quartzo, feldspato potássico (ortoclásio), plagioclásio, biotita, anfibólio (hornblenda) e diminutos cristais de muscovita. Como possui apenas 10% de minerais máficos, essa rocha foi classificada como leucocrática. Análise modal macroscópica em amostras coletadas no campo revelou que sua composição petrográfica é quartzo-monzonítica (Figura 8).



Figura 8 - Granitoide de composição quartzo-monzonítica que ocorre como lente em pegmatito alto do feio.

5. CONCLUSÕES

O presente estudo permite algumas conclusões quanto a geologia, mineralogia, gênese e potencialidades do pegmatito alto do feio, localizado no município de pedra lavrada. Estas são:

- Inserido geologicamente na faixa de dobramentos Seridó, este pegmatito apresenta forma alongada na direção principal NE-SW, sendo encaixado em biotita-xistos e granada-biotita-xistos;
- O corpo possui minerais dispostos de maneira irregular formando estruturas fortemente zonadas, apresentando variações sistemática na textura, além de ser afetados por fraturas locais de direções diversas;
- Apresenta zona de borda, margem do núcleo e núcleo de quartzo, além de uma lente de granitoide de coloração escura classificada de composição quartzo-monzonítica;
- Em função da sua distribuição mineral e suas relações regionais, levando em consideração os modelos clássicos para pegmatitos, conclui-se que o pegmatito Alto do Feio corresponde a um pegmatito heterogêneo;

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

JAHNS, R. H., 1955. The study of pegmatites. In: Economic Geology, 50th. Anniversary. v.2, p.1025-1130.

JOHNSTON, W.D.Jr., 1945. Beryl-tantalite pegmatites of Northeastern Brazil. Geol. Soc. Amer. Bul. 56, 1015-1070.

SCORZA, E.P., 1944. Província Pegmatítica da Borborema. DNPM/DGM (Boletim 112). Rio de Janeiro, 55pp.

VAN SCHMUS, W. R.; BRITO NEVES, B. B.; WILLIAMS, I. S.; HACKSPACHER, P. C.; FETTER, A. H.; DANTAS, E. L.; BABINSKI, M., 2003. The Serido Group of NE Brazil, a late Neoproterozoic pré- to syn-collisional basin in West Gondwana: insights from SHRIMP U-Pb detrital zircon ages and Sm-Nd crustal residence (TDM) ages. Precambrian Research, 127:287-327.

VASCONCELOS, S. A., 2006. O uso do território do município de Pedra Lavrada-PB pela mineração. Programa de pós-graduação, curso de mestrado e doutorado em geografia. UFPE.

MAPEAMENTO GEOLÓGICO, ZONEAMENTO MINERAL E POTENCIAL ECONÔMICO DO PEGMATITO ALTO SERRA BRANCA, REGIÃO DE PEDRA LAVRADA, SERIDÓ PARAIBANO

Emerson Diego Gomes Sales¹, Lauro César Montefalco de Lira Santos², Fabrício Fernandes Vieira³

¹ Estudante, Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, Universidade Federal de Campina Grande. Av. Aprígio Veloso, 882 - Bodocongó, Campina Grande - PB, Brasil.

² Professor, Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, Universidade Federal de Campina Grande. Av. Aprígio Veloso, 882 - Bodocongó, Campina Grande - PB, Brasil.

³ Mestrando, Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, Universidade Federal de Campina Grande. Av. Aprígio Veloso, 882 - Bodocongó, Campina Grande - PB, Brasil.

diegosales45@gmail.com

RESUMO

Pegmatitos graníticos podem constituir rochas de importante vocação econômica, uma vez que tendem a concentrar valores consideráveis de elementos como Be, Li, Nb-Ta, elementos terras raras, além de amplo conteúdo gemológico. Na região do Seridó, que abrange os estados Paraíba e Rio Grande do Norte, ocorrem diversas intrusões pegmatíticas, as quais representam fontes estratégicas de minerais industriais no Brasil. Dentre essas intrusões destaca-se o Pegmatito Alto Serra Branca (PASB), que ocorre nas proximidades do município de Pedra Lavrada (PB). Geologicamente, este pegmatito faz parte da Província Pegmatítica da Borborema, a qual está inserida na Faixa Seridó do Domínio Rio Grande do Norte da Província Borborema. Assim como diversos corpos pegmatíticos da região, o PASB carece de estudos geológicos de detalhe, o que motivou o desenvolvimento do presente trabalho através da cooperação entre a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). Estudos de campo e mapeamento geológico de detalhe revelaram que o do PASB segue um *trend* estrutural regional de direção NE-SW controlado pela foliação transcorrente observada nas rochas encaixantes. Estas, correspondem a biotita-xistos, granada-biotita xistos e mica xistos alterados. Localmente, este pegmatito é cortado por diversas fraturas locais, tendo como sua principal feição um zoneamento mineral bem desenvolvido. Foram definidas as diferentes zonas da borda para o centro: i) zona intermediária externa, ii) zona intermediária interna e iii) zona de núcleo. A primeira zona é

composta por feldspato potássico e muscovita, além de turmalina preta (schorlita) e ocorrências pontuais de ambligonita, enquanto que a segunda é composta pela paragênese predominante quartzo + feldspato com intercrescimento gráfico, porém, ambligonita e schorlita ocorrem em menor proporção. Por outro lado, a zona de núcleo é formada majoritariamente por cristais de quartzo de coloração variada, incluindo quartzo esfumado, hialino e leitoso. A presença de zonas de bordas bem definidas e um núcleo representado por um bolsão homogêneo de quartzo permitem classificá-lo como um pegmatito tipicamente heterogêneo. Por fim, este pegmatito é portador de uma assembléia mineralógica com potencialidade econômica significativa, a exemplo das gemas (elbaíta azul safira), mica, feldspatos e cassiterita. Estes minerais ocorrem de forma disseminada nas diferentes zonas minerais. Estas ocorrências credenciam o PASB como um alvo prospectivo importante para futuros trabalhos específicos de pesquisa mineral.

PALAVRAS-CHAVE: Pegmatito, Alto Serra Branca, Nordeste do Brasil.

ABSTRACT

Granitic pegmatites represent igneous rocks with economic importance, once it tend to concentrate considerable contents of Be, Li, Nb-Ta, rare earth elements, besides several gemstones. In the Seridó Region, which occupies part of the Paraíba and Rio Grande do Norte states, there are several pegmatitic bodies, that represent strategic sources for non metallic minerals in Brazil. Among these, the Alto Serra Branca (ASBP) pegmatite occurs in the vicinity of the Pedra Lavrada Town. This pegmatite is part of the Borborema Pegmatitic Province, which is inserted in the Seridó Fold Belt of the Rio Grande do Norte Domain (Borborema Province). Likewise other pegmatites in the region, the ASBP pegmatite lacks of study geological studies, which motivated the development of the present work trough the cooperation between Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) and Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). Field studies and geological mapping has revealed that the ASBP follows a regional structural trend in the NE-SW direction, which is controlled by strike-slip foliation observed in the hosting schists. Locally, this pegmatite is cut by several fractures. On the other hand, this body is characterized by a typical mineral zoning. From its border to its core, the different zones were defined as: i) external intermediate zone, ii) internal intermediate zone and iii) core zone. The first one is composed by potassic feldspar and muscovite, besides black tourmaline and punctual occurrences

of amblygonite, whereas the second one is composed by quartz + feldspar developing graphic intergrowth, besides amblygonite and schorlite in a lesser extent. At last, the core zone is mostly formed by quartz crystals with variable colors. The presence of these well defined zones allow us to classify the ASBP as an heterogeneous type. In addition, this pegmatite host a potentially valuable mineralogical assemblage, including gemstones (eg. elbaite), mica, feldspars and cassiterite. These minerals occur disseminated among the different zones. These occurrences indicate that the ASBP might be an important prospective target for future specific works.

KEY-WORDAS: Pegmatites, Alto Serra Branca, northeastern Brazil.

1. INTRODUÇÃO

Na região do Seridó nordestino, a qual abrange parte dos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, ocorrem uma série de corpos pegmatíticos os quais representam reserva estratégica de minerais industriais e gemas para o Brasil. Nas proximidades do município de Pedra Lavrada (PB), destacam-se os pegmatitos Alto do Feio, Capoeira, Boqueirão e Alto Serra Branca (PASB), sendo este último objeto do presente estudo.

Esta região tem seu potencial econômico conhecido desde a década de 1930, com foco em diversos bens minerais como feldspatos, quartzo, berilos, além de gemas como a turmalina elbaíta, os quais tem sido explotados principalmente por meio de atividade garimpeira (Vasconcelos, 2006).

Na última década, diversos trabalhos científicos e tecnológicos têm sido desenvolvidos na região por meio de cooperação de diversas instituições públicas e privadas com objetivo de desenvolver a atividade mineral na região. Entretanto a região que compreende as adjacências de Pedra Lavrada, carece fortemente de trabalhos de geologia básica, envolvendo mapeamento de corpos pegmatíticos em escala de detalhe e definição de zonas de ocorrências minerais ao longo desses corpos.

O principal objetivo deste trabalho é apresentar novos dados de cartografia e geologia básica do Pegmatito Alto Serra Branca (PASB), visando contribuir para a o conhecimento geológico da área e futuros trabalhos prospectivos na região. Adicionalmente, este trabalho visa contribuir para o desenvolvimento e aprimoramento da extração dos minerais de valor econômico pela cooperativa garimpeira que atua neste depósito mineral.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

O PASB está localizado na Província Pegmatítica da borborema (Figura 1) a qual faz parte do cinturão neoproterozóico do Domínio Rio Grande do Norte que corresponde a uma faixa regional localizada entre o lineamento Patos e a Zona de Cisalhamento Senador Pompeu e está inserido na Província Borborema (Brito Neves et al., 2000; Santos et al., 2000).

A Província Borborema foi definida por Almeida et al., (1981) como sendo uma entidade geotectônica brasileira de caráter policíclico com alternância de regimes compressivos e distensivos a qual ocupa a porção nordeste da plataforma sul-americana.

Dentro do Domínio Rio Grande do Norte, os pegmatitos mineralizados ocorrem de forma intrusiva em biotita-xistos, granada-biotita xistos e xistos ricos em biotita alterados da Formação Seridó da Faixa homônima. De acordo com Van Schmus et al., (2003), essas rochas foram recristalizadas com um metamorfismo do tipo LP/HT (baixa pressão e alta temperatura), tendo idade de deposição Neoproterozoica, constituindo uma zona mineralizada em W e outros metais raros.

O PASB faz parte de uma das inúmeras intrusões magmáticas que compõe a Província Pegmatítica da Borborema. Esta província foi pioneiramente definida por Scorza, 1944, tendo seu potencial econômico conhecido desde a primeira guerra mundial, ocupando uma área de 75x150 km na porção centro-sul da Faixa Seridó, sendo intensamente afetada por diversas estruturas dúcteis na direção NE (Araújo et al., 2011, Beurlen et al., 2014).

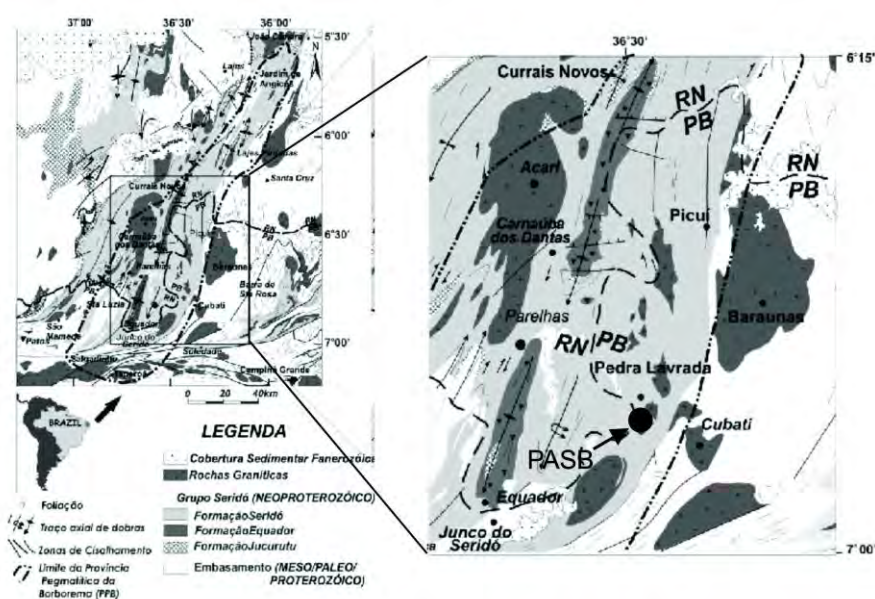


Figura 1: Contexto geológico da Província Pegmatítica da Borborema. Modificado de Beurlen et al., (2009) e Soares et al., (2012).

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do presente trabalho foi seguida sistemática básica de mapeamento geológico de detalhe e pesquisa mineral qualitativa de superfície. A metodologia empregada envolveu:

- Interpretação das principais estruturas em fotografias aéreas e imagens de satélite;
- Etapas de campo onde foram coletados dados geodésicos e estruturais por meio de auxílio de equipamento GPS e bússola;
- Coleta de amostras para análises petrográficas no laboratório de microscopia da Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia da Universidade Federal de Campina Grande;
- Trabalhos de gabinete onde os dados estruturais foram tratados e foi confeccionado o mapa geológico de detalhe com a integração de todos os dados por meio de *software* Arcgis, versão 9.3.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Durante o presente trabalho, foram realizados perfis transversais à direção do PASB através dos quais pode-se constatar que este corpo pegmatítico possui uma forma elíptica, orientada na direção NE-SW, em função da atividade de zonas de cisalhamento sinistrais relacionadas ao Lineamento Patos, apresentando destaque topográfico com relação às rochas encaixantes em função de sua maior resistência ao intemperismo na região. Estas estruturas regionais conferem as rochas encaixantes e as regiões de borda do PASB estruturas de caráter dúctil, tais como foliação de médio a alto ângulo, associado a lineações horizontais à sub-horizontais e dobramentos em escala métrica a dessimétrica com planos axiais subverticais, observados freqüentemente nos xistos encaixantes. Por outro lado, este pegmatito é cortado por fraturas locais, algumas mapeáveis e outras observáveis apenas em escala de afloramento, sugerindo que uma fase deformacional rúptil desempenhou papel importante na formação deste pegmatito.

Análise mesoscópica indicou que o PASB se apresenta com presença de cristais com granulação grossa da ordem de dezenas de centímetros e textura fanerítica a pegmatítica. Possuindo presença significativa de minerais félsicos, sendo portanto classificada como uma rocha predominantemente leucocrática.

Observações de campo e coleta sistemática de amostras permitiu definir as seguintes zonas minerais que ocorrem da borda para o centro do corpo pegmatítico: i) zona de contato, ii) zona

intermediária externa, iii) zona intermediária interna e iv) núcleo de quartzo, conforme mapa geológico apresentado na Figura 2. A distribuição das zonas mapeadas e das principais estruturas observadas, as quais incluem a foliação regional foto-interpretada (observada nos xistos encaixantes) e fraturas que cortam o corpo, podem ser observadas no perfil geológico esquemático apresentado na Figura 3.

Adicionalmente, estudos estruturais de detalhe em perfis paralelos e perpendiculares ao trend do PASB permitiu mapear e identificar as principais fraturas que cortam o corpo. Uma análise geométrica destas estruturas revelou que o corpo pegmatítico é cortado por três principais famílias de fraturas, cujas direções são preferencialmente: N-S, NW-SE e NE-SW (Figura 4).

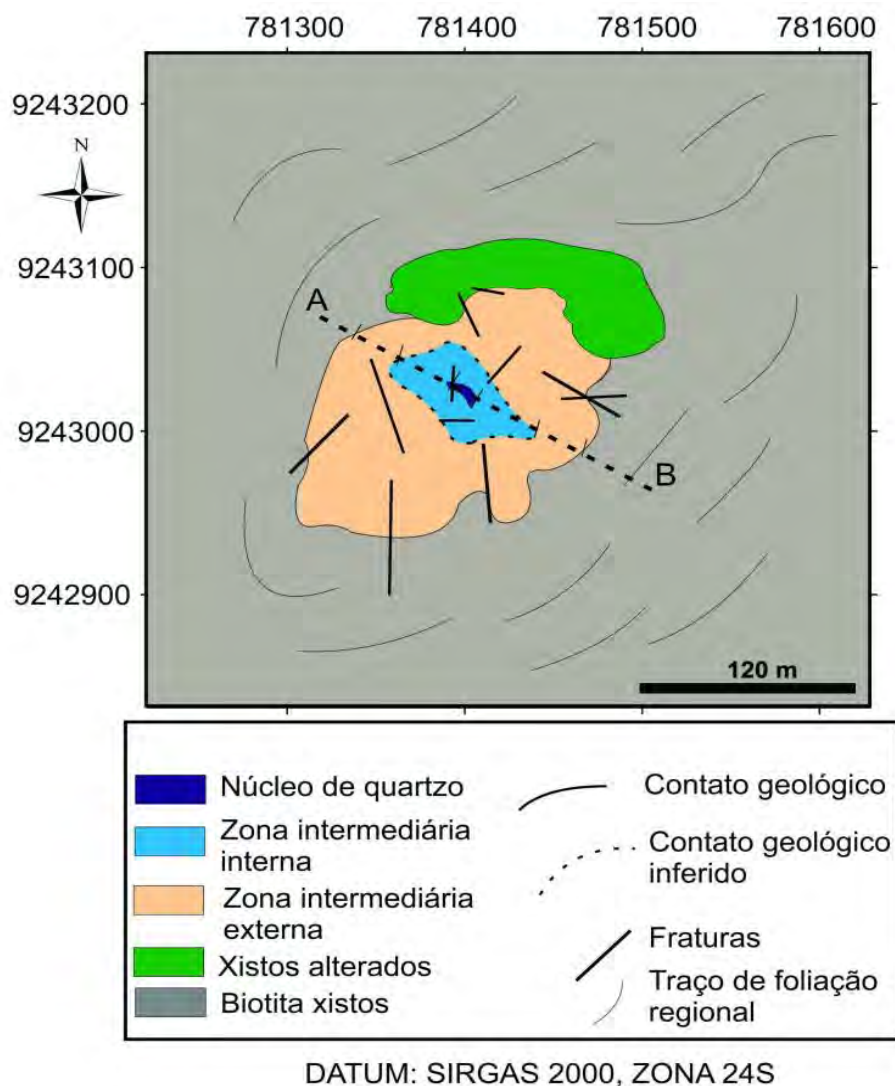


Figura 2: Mapa geológico e zoneamento mineral proposto para o pegmatito Alto Serra Branca.

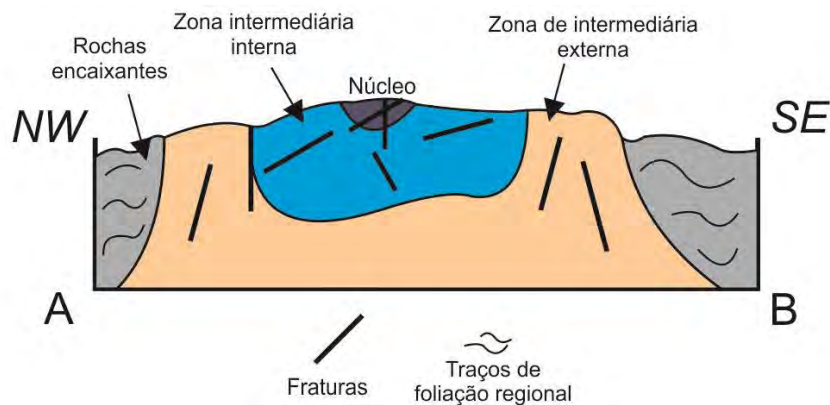


Figura 3: Perfil geológico esquemático A-B representado na figura 2, mostrando a distribuição espacial das principais zonas minerais e estruturas do PASB (Fora de escala).

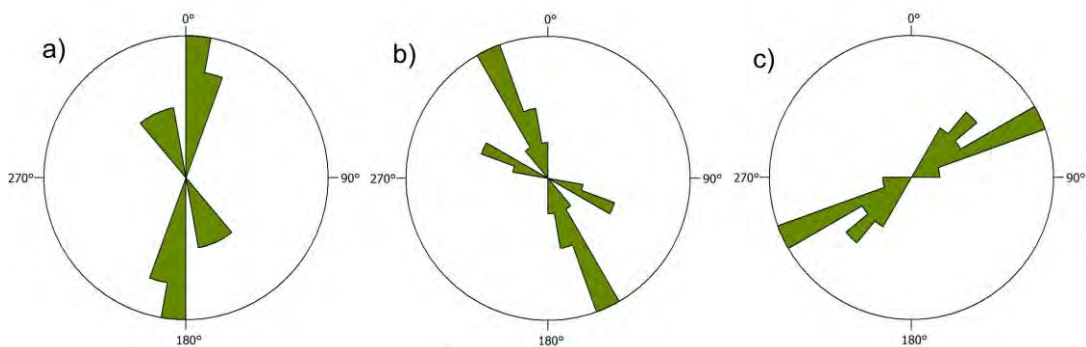


Figura 4: Diagramas de roseta demonstrando o comportamento das principais famílias de fraturas medidas durante as etapas de campo

A região que compõe as porções de borda do corpo pegmatítico e os xistos encaixantes é aqui definida como zona de contato, a qual é representada por um forte contraste topográfico entre o PASB e os xistos ao redor (Figura 5a). Esta zona é caracterizada pela ocorrência de estruturas dúcteis referentes à foliação regional as quais são cortadas por veios e diques pegmatíticos enriquecidos em quartzo e feldspato potássico.

A zona intermediária externa é caracterizada pela presença de feldspato potássico abundante, por vezes enriquecido com mineralizações de turmalina preta (variedade schorllita), mica muscovita em placas ou exibindo âmbito radial, ambligonita (fosfato de lítio) e albita. Apatita ocorre localmente exibindo cristais subédricos disseminados, sempre relacionados aos cristais de albita. Adicionalmente, os cristais de albita apresentam-se ocasionalmente com oxidação de intensidade variável, o que reduz a dureza deste mineral passando a ter consistência friável em tonalidades que variam do vermelho ao branco. Granada de coloração marrom-escuro pode ocorrer subordinadamente, exibindo freqüentemente sua forma dodecaédrica, constituindo cristais perfeitamente euédricos, tendo ocorrência mineral de forma disseminada.

A abundância de turmalina aparentemente apresenta uma estreita relação com a presença de feldspato potássico, sugerindo que o enriquecimento do primeiro depende da presença do segundo, revelando assim um possível guia prospectivo. Essa relação embora que empírica, é observada ao longo de todos os perfis, inferindo portanto um controle mineralógico para a ocorrência da turmalina. Por outro lado, a ausência de feldspato potássico tende a favorecer o desenvolvimento de cristais de albita, os quais são sempre acompanhados da associação muscovita ± apatita.

A zona intermediária interna por sua vez possui mineralogia simples, sendo formada pela associação feldspato + quartzo associada a diminuição da granulometria da rocha, assumindo preferencialmente uma textura fanerítica, típica de rochas graníticas. A feição geológica marcante desta zona é a presença de textura gráfica (Figura 5b), relacionada ao intercrescimento "vermiforme" destes minerais silicáticos. Esta textura é freqüentemente associada ao crescimento em desequilíbrio de quartzo e feldspato nos últimos estágios da cristalização magmática.

Além disso, nesta zona ocorrem ainda porções dominadas exclusivamente por albita. Nestas regiões, minerais com valor econômico importante como ambligonita e afrisita, além de diminutas ocorrências de elbaítas azul safira estão presentes de forma disseminada.

Por último, mas não menos importante, na região central deste pegmatito ocorre uma região fortemente homogênea, tendo sua mineralogia limitada por cristais anédricos, de dimensões variadas de quartzo com coloração variada. Esta região é aqui denominada de núcleo de quartzo, sendo caracterizada por intenso fraturamento, e apesar de ocorrer localmente às variações azuladas, amareladas (citrino), esfumaçadas (fumê) e transparentes (hialino) em função da presença de impurezas, a predominância principal é de quartzo na sua variação esbranquiçada mais comum (quartzo leitoso).

Estimativas realizadas sugerem que este núcleo corresponde a um bolsão de sílica de dimensões inferiores a outros pegmatitos da região, com extensão aproximada de 12 metros ao longo do seu eixo principal.

Minerais subordinados que ocorrem nessa zona sendo observada a presença de micas de variedade muscovita, podendo exibir hábito radial concêntrico (Figura 5c), ou mesmo lamelar característico, além de cristais disseminados de cassiterita como principal mineral metálico presente nesta zona (Figura 5d). Estes minerais constituem os principais minerais acessórios desta porção do pegmatito.

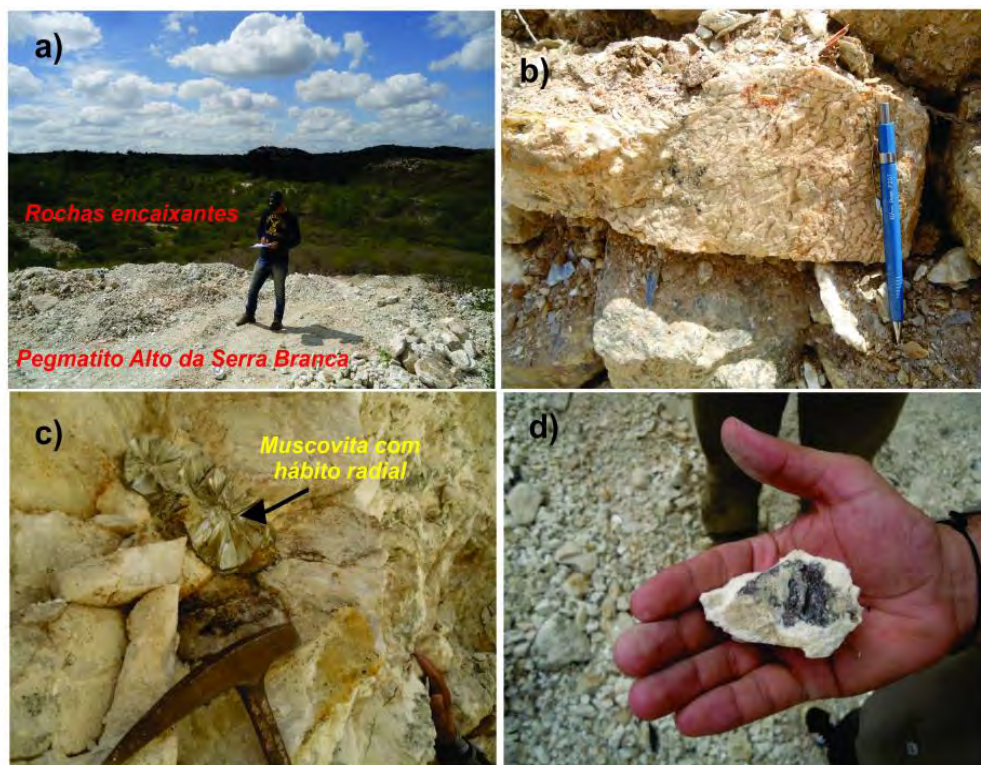


Figura 5: Aspectos de campo observados ao longo dos perfis realizados neste estudo. a) Discordância topográfica entre o Pegmatito Alto Serra Branca e as rochas encaixantes, b) Aspecto mesoscópico de afloramento referente a zona intermediária externa predominância de feldspato potássico e presença subordinada de schorlita e granada, c) Detalhe de muscovita com raro hábito radial observada na região de núcleo de quartzo (porção central do PASB) e d) Cristal de cassiterita coletado ao longo de perfil na região do núcleo de quartzo.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente trabalho podem ser sumarizados a seguir:

I) O pegmatito Alto Serra Branca possui um trend regional NE-SW e ocorre encaixado em xistos da Formação Seridó da Faixa de Dobramento Seridó;

II) Este corpo é influenciado por foliação de alto ângulo dúctil e também cortado por fraturas e outras estruturas rúpteis. Durante trabalhos de mapeamento geológico, foram identificados três principais famílias de fraturas, cujas direções preferenciais são: N-S, NW-SE e NE-SW.

III) Mapeamento geológico de detalhe revelou que este corpo possui um zoneamento mineral característico, marcado pela ocorrência de minerais-minério em função destas zonas. Foram definidas as zonas de contato entre o pegmatito e rocha encaixante, zona intermediária externa, composta pela associação feldspato potássico + schorllita, muscovita + ambligonita + albita, zona intermediária interna, formada pela associação quartzo + feldspato potássico exibindo intercrescimento gráfico e núcleo homogêneo de quartzo, composto por associações pontuais de muscovita radial e cassiterita;

IV) O zoneamento mineral observado sugere que o PASB corresponde a um pegmatito heterogêneo injetado em uma zona de deformação rúptil (*tension gashes*), a qual é interpretada como o principal aspecto estrutural para o alojamento de pegmatitos dessa natureza na região.

6. referências bibliográficas

ALMEIDA, F. F. M. de; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. Brazilian Structural provinces: An introduction. In: Earth Science Review, v.17, p.1-29, 1981.

ARAÚJO, M.N.C; SILVA, F.C.A; JARDIM DE SÁ, E.F. Pegmatite emplacement in the Seridó Belt, Northeastern Brazil: Late stage kinematics of the Brasiliano Orogen. In: Gondwana Research, v. 4, p. 75-85, 2011.

BRITO NEVES, B. B. de; SANTOS, E. J. dos; VAN SCHUMS, W. R. Tectonic history of the Borborema Province. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. (Eds.) Tectonic evolution of South America. Rio de Janeiro: 31st. International Geological Congress, 854 p., p.151-182. 2000.

SANTOS, E.J.; BRITO NEVES, B.B.; VAN SCHMUS, W.R.; OLIVEIRA, R.G.; MEDEIROS, V.C. An overall view on the displaced terrane arrangement of the Borborema Province, NE Brazil. In: International Geological Congress, 31th, Rio de Janeiro, Brazil, General Symposia, Tectonic Evolution of South American Platform, p.5-9. 2000.

SOARES, D. R.; FERREIRA, A. C. M.; BEURLIN, H.; LIMA, R. J. S.; SUASSUNA FILHO, J.; LOURENÇO NETO, M. Estudo de espectroscopia de absorção uv-vis da gahnita gemológica do pegmatito alto mirador, província pegmatítica da borborema, NE do brasil. Estudos geológicos(UFPE), Recife, v. 22, p. 20-30, 2012.

VAN SCHMUS, W. R.; BRITO NEVES, B. B.; WILLIAMS, I. S.; HACKSPACHER, P. C.; FETTER, A. H.; DANTAS, E. L.; BABINSKI, M. The Serido Group of NE Brazil, a late Neoproterozoic pré- to syn-collisional basin in West Gondwana: insights from Shrimp U-Pb detrital zircon ages and Sm-Nd crustal residence (TDM) ages. Precambrian Research, 127:287-327, 2003.

VASCONCELOS, S. A. O uso do território do município de Pedra Lavrada-PB pela mineração. 2006. 216 f. (Dissertação) Programa de pós-graduação, curso de mestrado e doutorado em geografia. UFPE, Recife. 2006.

ASPECTOS ECONÔMICOS DA LAVRA INTEGRAL DO PEGMATITO ALTO DA SERRA BRANCA

Marinésio Pinheiro de Lima.¹, Júlio Cezar de Souza², Francisco Wilson Holanda Vidal³

Elbert Valdiviezo Vieira⁴

¹ Eng. de minas, M.Sc., Dep. de Eng. de Minas – DEMINAS, Uni. Fed. de Pernambuco - UFPE/MEC

² Eng. de minas, D.Sc., Dep. de Eng. de Minas – DEMINAS, Uni. Fed. de Pernambuco - UFPE/MEC

³ Eng. de Minas, D.Sc., Eng de Minas, DSc. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCT

⁴ Eng. de Minas, D.Sc., Dep. de Min. e Geologia – DMG, Uni. Fed. de Campina Grande – UFCG/MEC

marinesio.pinheiro@ufpe.br

RESUMO

A realização de um planejamento para lavra de corpos pegmatíticos do Seridó, tem como proposta fundamental a lavra de forma integral, observando as características geológicas, mineralógicas, estruturais e econômicas, com intuito de conduzir as diretrizes para implantação da lavra. A região é possui grande potencial mineral, evidenciando os pegmatitos mineralizados com os chamados minerais acessórios típicos: tantalita, columbita, berilo, espodumenio, cassiterita, gemas, entre outros. Estes minerais se distribuem de forma errática, dificultando a estimativa das reservas. Já os minerais estruturais (quartzo e feldspato), ficam localizados na zona intermediária dos pegmatitos heterogêneos e possuem características que permitem a avaliação do potencial das reservas mediante trabalhos de pesquisa geológica e cubagem, o que proporciona a possibilidade de um planejamento para aproveitamento integral dos minerais a serem lavrados. Neste contexto, os minerais acessórios são desejáveis, mas devem ser encarados como fonte de receita complementar numa lavra integral planejada voltada para os minerais industriais do pegmatito. No Pegmatito Alto da Serra Branca, localizado no município de Pedra Lavrada/PB, foi desenvolvido um método de lavra a céu aberto, prevendo uma recuperação do minério até o nível 500, totalizando seis bancadas de 5,0 m, com um sistema de rampas de acesso externo a cava, aproveitando o desnível topográfico, resultando em uma lavra em encosta com a menor REM possível com as bancadas desenvolvidas dentro do pegmatito. Obtendo-se uma movimentação de toda cava em torno de 231.281,07 m³ com uma REM de 0,46, onde verificou-se sua viabilidade econômica, levando em consideração apenas a produção dos minerais estruturais do pegmatito.

PALAVRAS-CHAVE: Lavra, Integral, Pegmatito

ABSTRACT

The realization of a plan of mining pegmatite bodies of Seridó, is fundamental proposal full mining, observing the characteristics, geological, mineralogical, structural and economic, with the objective of mining deployment. The region has great mineral potential, showing the mineralized pegmatites with minerals typical accessories: tantalite, columbite, beryl, spodumene, cassiterite, gems, etc. These minerals are distributed erratically, making it difficult to estimate the reserves. As for the structural minerals (quartz and feldspar), are located in the intermediate zone of pegmatites heterogeneous and have features to potential evaluation of reserves on of research and cubage, providing the possibility of a planning for full exploitation of minerals. In that context, the accessory minerals are desirable, but should be viewed as a source of additional revenue in full mining focused on industrial minerals pegmatite. In pegmatite Alto da Serra Branca, located in the municipality of Pedra Lavrada / PB, an open pit mining method was developed, providing for ore recovery to the level 500, totaling six benches of 5.0 m, with a system of external access ramps, leveraging the topographic slope, resulting in a mining the hillside with the lowest possible REM, with benches developed within the pegmatite, resulting in an amount around for 231,281.07 m³ with a REM 0.48, verifying its economic viability, taking into account only the production of structural minerals from the pegmatite.

KEYWORDS: mining, integral, pegmatite

1. INTRODUÇÃO

O pegmatito Alto da Serra Branca encontra-se inserido na Província Pegmatítica da Borborema, região caracterizada pelo seu grande potencial mineral, principalmente quando se trata de corpos pegmatitos mineralizados com os chamados minerais acessórios típicos: tantalita, columbita, berilo, espodumenio, cassiterita, gemas, entre outros.

Os pegmatitos são constituídos em sua grande parte pelos seus minerais estruturais (quartzo e feldspato), formando uma grande massa e moldando suas formas, já os minerais acessórios ocorrem de forma errática no pegmatito, dificultando a quantificação das reservas.

Nesse contexto, os minerais estruturais proporcionam uma cubagem mais precisa do corpo, contribuindo para realização de um planejamento da lavra visando o aproveitamento integral dos minerais a serem desmontados. Os minerais acessórios são desejáveis, mas devem ser encarados como fonte de receita complementar numa lavra integral planejada.

A lavra destes pegmatitos esteve durante muito tempo associada à obtenção dos minerais acessórios, conduzindo-o para uma exploração de forma desordenada. Muitos destes corpos encontram-se em processo de lavra rudimentar ou extraídos de forma semi-mecanizada, porém, ambos executam uma lavra predatória e com baixo grau de segurança.

O pegmatítio Alto da Serra Branca, trata-se de um corpo pegmatito heterogêneo (JOHNSTON, 1945) que tem como produto principal o Feldspato Sódico (Albita), e se encontra sob a titularidade da COMIPEL – Cooperativa de Mineradores de Pedra Lavrada no Município de Pedra Lavrada – PB, A escolha deste corpo se deve ao fato de que o mesmo possui as informações mínimas para elaboração de um cenário de lavra integral.

2. OBJETIVOS

O trabalho possui como objetivo principal elaborar um cenário de lavra integral do pegmatito Alto da Serra Branca, identificando as quantidades de minério e estéril a serem movimentadas, dando subsídio para uma análise da relação estéril/minério REM que o tipo de depósito suporta em função do preço dos minérios contidos no pegmatito.

3. TRABALHOS DESENVOLVIDOS

O trabalho consistiu de duas etapas distintas, iniciando pelas visitas ao corpo pegmatito para coleta das informações necessárias para elaboração de cenário de lavra integral. Em seguida foi iniciado os trabalhos no Laboratório de Planejamento de Lavra do Departamento de Engenharia de Minas (DEMINAS) da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, utilizando o software Datamine para compilação e apresentação dos dados em 3D, e elaboração do cenário de lavra do pegmatito em questão.

3.1 Visitas de Campo

Os trabalhos iniciaram com visitas de campo, onde foi realizado o reconhecimento da área e coletadas as informações preliminares necessárias a execução do trabalhos.

Verificou-se que, *in loco*, que se trata de um pegmatito heterogêneo (Johnston, 1945), possuindo as quatro zonas característica, sendo a zona 02 e a zona 03 compõe cerca de 90 % da do corpo, caracterizando-se por uma massa de granulometria grosseira, composta basicamente de quartzo e feldspato sódico com alguns bolsões e quartzo no seu centro caracterizando a zona 4. Nas zonas 02 e 03 ocorrem de forma errática os minerais acessórios, sendo a tantalita e a turmalina de cor azul os mais importantes. Desta forma, a lavra foi desenvolvida com intuito de obtenção destes minerais, onde foram geradas três escavações, isoladas. (Figura 01).

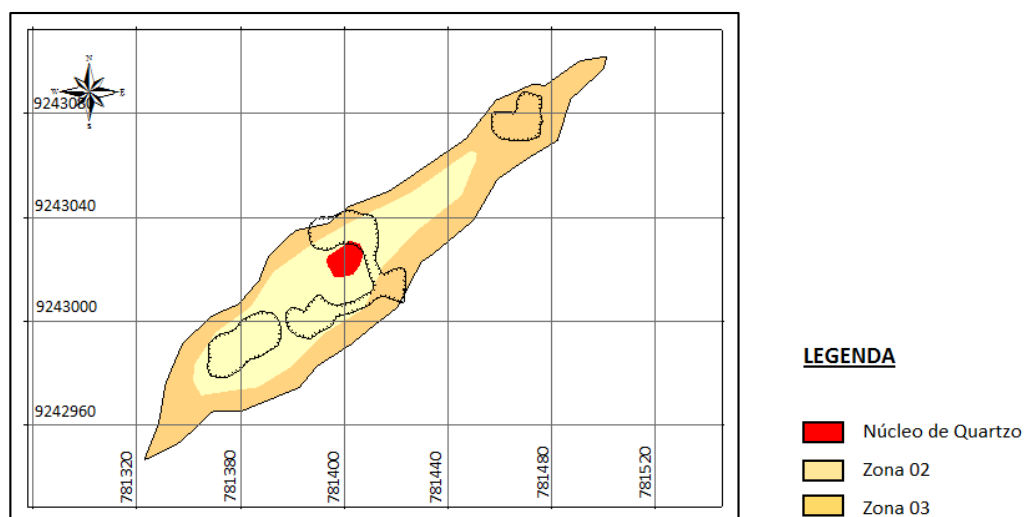


Figura 1 - Resultado do Levantamento realizado na área

3.2 Elaboração do Cenário de Lavra

Os dados foram reunidos em um modelo 3D, utilizando o software DATAMINE da CAE Mining no LAPLA – Laboratório de Planejamento de Lavra do Departamento de Engenharia de Minas da UFPE com o objetivo de propor um método de lavra integral para as condições do depósito em questão. As etapas necessárias para elaboração um cenário de lavra encontra-se descritas a seguir.

3.2.1 Organização e Importação do Banco de Dados

O banco de dados contém todas as informações coletadas em campo, e foram agrupados em arquivos TXT e em planilhas do Excel, contendo todas as informações topográficas e as coletadas em campo. Os arquivos de dados foram importados para o Datamine e representados graficamente para a confecção do modelo geológico do pegmatito.

3.2.3 Modelo Geológico

A interpretação geológica tem como objetivo cubar o corpo pegmatítico como um todo, foi realizada através da digitalização de seguimentos de retas (*strings*) do contorno em seções perpendiculares ao longo do corpo. A interpolação das espessuras mineralizadas é realizada para cada seção e projetada perpendicularmente para o volume do corpo que se estende até a próxima seção. Em seguida une-se as seções dando origem a cubagem do depósito como um todo.

Depois de interpretada todas as seções foi gerado o modelo 3D do pegmatito, conforme ilustrado na Figura 2.

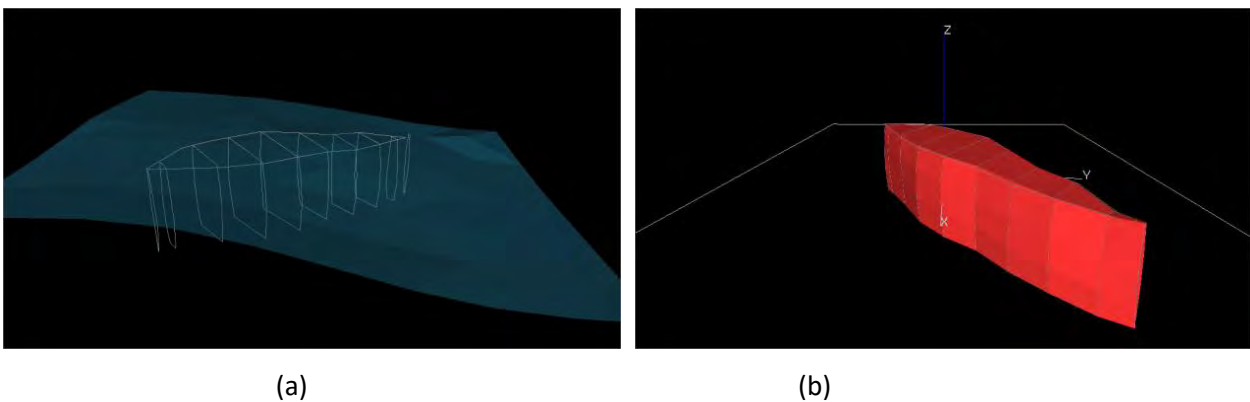


Figura 2 – (a) *String* do do corpo pegmatito, (b) *Wireframe* do corpo pegmatítico

3.2.4 Cenário de Lavra

O cenário foi desenvolvido prevendo uma recuperação do minério até o nível 500, totalizando seis bancadas de 5,0m, com um sistema de rampas de acesso externo a cava, aproveitando o desnível topográfico, resultando em uma lavra em encosta. O objetivo principal deste cenário foi desenhar um projeto dentro da menor relação estéril minério (REM) possível com o desenvolvimento de bancadas dentro do próprio minério. Os parâmetros geométricos adotados para cava encontram-se listados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros geométricos para construção da cava.

Parâmetros	Valores
Elevação mínima	500,00 m
Número de bancadas	6 bancadas
Altura da bancada	5,0 m
Largura da berma	3,0 m
Inclinação da Face	70°
Sistema de Rampa	Externa a cava
Inclinação da Rampa	10%

O processo de construção da cava, foi iniciado na cota base 500, onde foram projetados os níveis seguintes até extrapolar a topografia, interligados com um sistema de rampas externas de 5,0 m de largura e inclinação de 10%. Inicialmente obedecendo a um ângulo de talude de 70°, e inclinação da face de 70°.

Depois de determinado o desenho da cava, foi realizado uma intercessão da mesma com a topografia gerando a cava final da mina, onde foi determinado seu volume total.

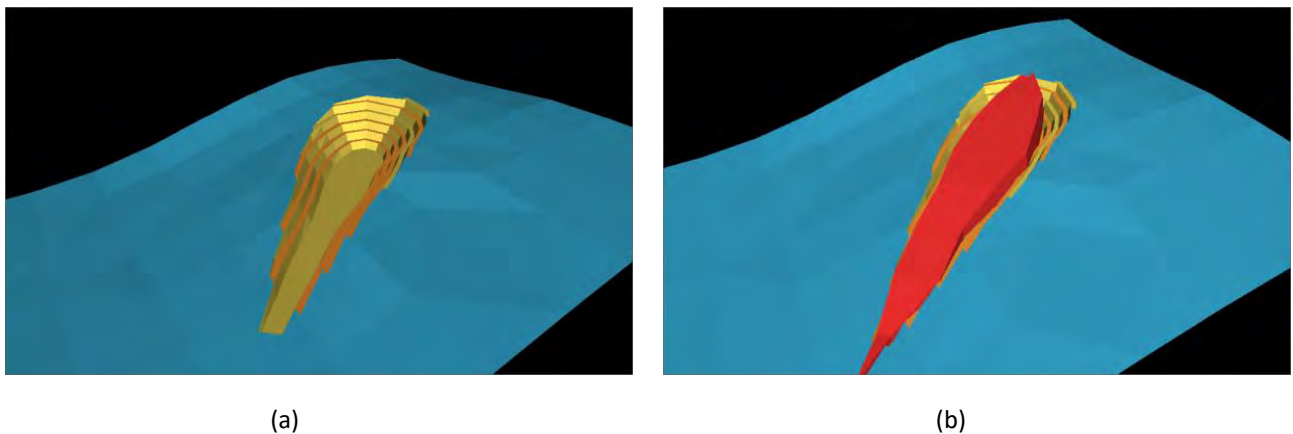


Figura 03 – (a) Vista em perspectiva da cava final (b) Vista em perspectiva da cava com o corpo pegmatítico inserido

Em seguida foi inserido o corpo pegmatítico modelado, para determinar os volumes e tonelagens a serem movimentados na cava.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A cava resultante do processo de construção do cenário teve o seu limite determinado até o nível 500 m devido às informações das escavações executadas pelos garimpeiros, tendo em vista falta de furos de sonda para um melhor conhecimento em subsolo. Os resultados das características de movimentação da cava encontram-se agrupados na tabela 2.

Tabela 2 – Resultados dos parâmetros da cava final

Parâmetros	Valores
Elevação máxima	531,04 m
Elevação mínima	500,00 m
Número de bancadas	6 bancadas
Altura da bancada	5,0 m
Largura da berma	3,0 m
Ângulo de Talude final	60°
Inclinação da Face	70°
Sistema de Rampa	Externa a cava
Inclinação da Rampa	10%
Largura da Rampa	5,0 m
Volume de estéril	72.663,41 m ³
Volume de Minério	158.617,66 m ³
Volume total da cava	231.281,07 m ³
Tonelagem da cava	601.330,76 ton
Tonelagem de Minério	412.405,91 ton
Tonelagem de Estéril	198.924,86 ton
REM	0,48

O cenário proposto possui uma REM de 0,48, tornando-o bastante atraente, e com uma movimentação de estéril consideravelmente pequena. Para uma análise econômica, temos os seguintes parâmetros :

Preço de 1 tonelada de Albita = R\$ 70,00

Tonelagem de albita Lavrável (*in loco*) = 412.405,91 ton

Preço da albita = R\$ 40,00/ton

Custo de Lavra = R\$ 30,00/m³

De posse dos parâmetros econômicos foi realizado uma análise, correlacionando recuperação da lavra com o lucro líquido gerado pela cava proposta. Na tabela 3 encontram-se os dados analisados.

Tabela 3– Parâmetros quantitativos e econômicos da cava gerada

Rec. Lavra	Tonelagem			REM	Receita	Custo	LL
	Minério	Estéril	Mov				
100%	12.405,92	188.924,87	601.330,78	0,46	16.496.236,64	6.938.432,10	9.557.804,54
90%	371.165,32	188.924,87	601.330,78	0,51	14.846.612,98	6.938.432,10	7.908.180,88
80%	329.924,73	188.924,87	601.330,78	0,57	13.196.989,31	6.938.432,10	6.258.557,21
70%	288.684,14	188.924,87	601.330,78	0,65	11.547.365,65	6.938.432,10	4.608.933,55
60%	247.443,55	188.924,87	601.330,78	0,76	9.897.741,98	6.938.432,10	2.959.309,88
50%	206.202,96	188.924,87	601.330,78	0,92	8.248.118,32	6.938.432,10	1.309.686,22
40%	164.962,37	188.924,87	601.330,78	1,15	6.598.494,66	6.938.432,10	- 339.937,44
30%	123.721,77	188.924,87	601.330,78	1,53	4.948.870,99	6.938.432,10	- 1.989.561,11
20%	82.481,18	188.924,87	601.330,78	2,29	3.299.247,33	6.938.432,10	- 3.639.184,77

De acordo com os valores observados na Tabela 3, podemos afirmar que a relação estéril minério de 0,45, pode ser economicamente viável, tendo uma margem para REM de até 0,92 obtendo-se um lucro líquido, ao final da lavra, em torno de R\$ 9.557.804,54 desta forma, fica clara a que a recuperação da lavra torna-se um dos fatores mais importantes para o êxito econômico do projeto. Vale salientar também que a recuperação na lavra pode ser um número difícil de prever, no entanto, não foi aqui levado em consideração a receita proveniente dos minerais acessórios, sendo assim, um mapeamento geológico detalhado como fonte de informação deixaria o modelo do pegmatito bem mais preciso para tomada de decisão. Desta forma, o cenário torna-se bastante atraente em função dos parâmetros que envolvem a produção de feldspato sódico na região.

5. CONCLUSÕES

Os aspectos econômicos de um projeto de mineração possuem peculiaridades singulares, sendo o risco geológico um dos fatores mais impactantes, desta forma, o conhecimento mais detalhado possível da reserva, torna-se um fator preponderante no sucesso do projeto. Estes riscos podem ser minimizados com o auxílio de ferramentas computacionais específicas de planejamento de lavra, utilizados de forma adequada.

O trabalho realizado no Pegmatito Alto da serra Branca corrobora para um plano de lavra integral dos pegmatitos, verificando a viabilidade econômica da cava proposta, onde foi considerada apenas a receita dos minerais estruturais do pegmatito, que apesar de possuir um baixo valor agregado, o preço de venda é historicamente constante na região, servindo de sustentáculo para extração dos minerais acessórios que possam vir ocorrer no pegmatito. Além

de evidenciar as informações mais importantes que precisam ser analisadas para que projeto obtenha êxito em uma lavra integral. Portanto, fica notório que quanto mais informações como geologia, topografia, e caracterização dos produtos, pode ser aplicado o modelo mais preciso, minimizando os riscos inerentes do setor mineral.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CETEM, UFCG, UFPE e a CAE Mining pela utilização do software DATAMINING Studio 3, para realização deste trabalho acadêmico.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HARTMAN, H.L. SME Mining Engineering Handbook, 3rd ed, 2 vols., Society of Mining Metallurgy and Exploration, (ed) (2011) Littleton, CO.

HARTMAN, H.L. E MUTMANKY, J.M. (2002) Introductory Mining Engineering, 2nd editions, Wiley, Ho Boken, NJ, 570 p.

JARDIM DE SÁ, E.F. Revisão Preliminar sobre a “Baixa Dobrada do Seridó” e Eventuais Correlatos no Nordeste. Revista da UFRN, Natal, 1978.

JOHNSTON JR, W.D. Os Pegmatitos Berilo -Tantalíferos da Paraíba e Rio Grande do Norte, no Nordeste do Brasil. Rio de Janeiro, DNPM, 1945.

LAMA, R. D.; VUTUKURI, V. S. Handbook on Mechanical Properties of Rocks. Volume IV. Trans Tech Publications. Australia, 1978.

SCORZA. E.P. Província Pegmatítica da Borborema. Rio de Janeiro, DNPM-DGM, 1944, 57 p.(Boletim 112).

A IMPORTÂNCIA DAS OPERAÇÕES DE INFRAESTRUTURA DE MINA – UM ESTUDO SOBRE AS ATIVIDADES REALIZADAS NA LAVRA DE BAUXITA DA MINERAÇÃO PARAGOMINAS S/A

Vivianne de Cássia Paixão Andrade¹, Suelen Silva Rocha ², Keyla Karla Silva³, Hermeson Carneiro Rodrigues⁴

¹ Engenheira de minas e mestranda em engenharia mineral, Universidade Federal de Pernambuco - CTG

² Engenheira de minas e mestranda em engenharia mineral, Universidade Federal de Pernambuco - CTG

³ Bióloga, Especialista em Gestão Ambiental e mestranda em engenharia mineral, Universidade Federal de Pernambuco - CTG

⁴ Engenheiro de minas e mestrando em engenharia mineral, Universidade Federal de Pernambuco - CTG

eng.vivianne.andrade@gmail.com

RESUMO

A extração de um recurso mineral envolve uma série de parâmetros os quais devem estar perfeitamente sincronizados para atender as especificações de uma mina. Sem um correto dimensionamento ou a ausência desses parâmetros vários problemas podem ser granjeados as atividades inerentes à lavra, prejudicando-a, no que tange o ritmo da produção. Apesar da grande importância associada à infraestrutura de mina são poucas as informações teóricas disponíveis que retratem o tema e que demonstrem o quão peculiar são essas atividades para o processo de melhorias do plano estratégico de uma mina. O trabalho em questão objetivou demonstrar as operações de infraestrutura de mina elucidando sua importância para o êxito das operações unitárias de lavra e demais atividades envolvidas na indústria mineral. Devido o escasso subsídio teórico que retrate o tema foram apresentados os parâmetros operacionais de infraestrutura de mina utilizados na Mina de Bauxita Paragominas pela Mineração Paragominas S.A, localizada no município de Paragominas, no estado do Pará, a fim de certificar maior didática ao tema.

PALAVRAS-CHAVE: bauxita, lavra, infraestrutura de mina.

ABSTRACT

The extraction of a mineral resource involves a number of parameters that must be perfectly synchronized to meet the needs of a mine. Without a proper design or with a lack of such infrastructure parameters, several problems may happen in the mining inherent activities, impairing them in terms of pace of production. Despite the great importance associated to the mine infrastructure, there are few theoretical information available that portray the theme and show how these activities are peculiar to the process of developing the improvements of the mine strategic plan. Thus, the present work aims to present the mine infrastructure operations and demonstrate their importance to the success of the mining unit operations and other activities involved in the mineral industry. Due to the scarce theoretical subsidy that portrays the theme, it will be presented here the operating parameters used in the mine infrastructure in the bauxite mine in Paragominas, Pará, by Mineração Paragominas S.A., in order to ensure the subject didactics.

KEYWORDS: bauxite, mining, mine infrastructure.

1. INTRODUÇÃO

A mineração envolve uma serie de parâmetros característicos que devem estar em sincronia permitindo com que as mais variadas atividades a ela associada alcancem o objetivo almejado. Na etapa de lavra várias ações inerentes à mesma, relacionadas à infraestrutura de mina, devem ser corretamente elaboradas, supervisionadas e mantidas, a fim de permitir o êxito das atividades de extração do recurso mineral.

A infraestrutura de mina é de grande importância para a mineração, uma vez que envolve todos os parâmetros de suporte imprescindíveis à extração do recurso. Sem esses mecanismos problemas podem ser granjeados as frentes de lavra prejudicando a produção e, conseqüentemente, o êxito das atividades associadas à indústria mineral, desde as operações de mina e recuperação da área degradada, às operações de beneficiamento do minério que dependem do volume extraído para um melhor aproveitamento dos seus processos.

Apesar da grande importância associada à infraestrutura de mina, são escassos os subsídios literários referentes ao assunto inclinando à necessidade de uma análise sobre o tema. Desse

modo, levantar-se-á dados de modo a construir um embasamento teórico à infraestrutura de mina, além do uso de relatórios internos fornecidos pela empresa Mineração Paragominas S/A, sendo retratado neste trabalho as ferramentas de infraestrutura de mina utilizados por meio da empresa para a lavra de bauxita no município de Paragominas, Estado do Pará, no projeto Miltônia 3.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Bauxita

A bauxita é formada por uma mistura impura de minerais de alumínio, sendo os mais importantes a gibbsita $\text{Al}(\text{OH})_3$, o diásporo $\text{AlO}(\text{OH})$ e a boehmita $\text{AlO}(\text{OH})$, que são minerais oxihidróxidos de alumínio que se diferem a partir da forma estrutural e do conteúdo variável de água em sua composição (SAMPAIO et al., 2008). As bauxitas brasileiras são essencialmente gibbsíticas, sendo muito raras as ocorrências de bauxitas boehmíticas ou diásporo (LOBATO, 2012).

A rota comercial mais importante para a purificação da bauxita é o processo Bayer, utilizado para a manufatura de hidróxido de alumínio $\text{Al}(\text{OH})_3$ e de óxido de alumínio, Al_2O_3 , alumina. A bauxita é amplamente aplicada na cadeia produtiva do alumínio (alumina e alumínio primário) e, também, em processos não metalúrgicos, no qual se incluem: refratários, abrasivos, produtos químicos, cimentos de alta alumina, fabricação do aço, entre outros, sendo que sua composição, *in natura*, é quem determinará a aplicabilidade do material (SAMPAIO et al., 2008).

2.2 Lavra em tiras

A lavra em tiras progride por meio de uma série de cortes paralelos de pequena largura e extenso comprimento, na forma de trincheiras profundas, denominadas tiras. A metodologia de escavação consiste na remoção dos materiais de cobertura e do minério através da execução de um corte ao longo de uma das dimensões do depósito. Outro corte paralelo ao primeiro é posteriormente escavado na direção oposta, no qual a cobertura vegetal e de rocha estéril é depositada dentro do corte que fora previamente minerado. Tal fato reduz a distância de transporte, evita a ocupação de novas áreas para deposição do conteúdo estéril, minimizando assim os impactos ambientais decorrentes dessas práticas (PERONI, 2007).

2.3 Infraestrutura de mina

A infraestrutura de mina corresponde à etapa de planejamento podendo ser realizadas antes das operações de lavra ou à medida que a lavra progride. A partir do método de lavra selecionado tais operações podem ser estudadas, planejadas, efetuadas e mantidas, sendo realizadas conforme as necessidades do projeto. Ela interfere diretamente no ritmo de produção de uma empresa, de modo que qualquer problema ocasionado a algumas das suas atividades pode provocar a paralização das operações de lavra (GAGPP – MPSA, 2013).

3. METODOLOGIA

3.1 Localização e aspectos litológicos

A empresa mineração Paragominas S/A localiza-se no município de Paragominas o qual fica às margens da rodovia Belém-Brasília (BR - 010), distando 360 quilômetros da capital Belém, no estado do Pará. As operações de mineração e processamento mineral, atualmente, concentram-se no Platô Miltônia 3 (M3), do qual o concentrado de bauxita é transportado por mineroduto até o município de Barcarena, onde fica locada a Refinaria *Hydro* (FERREIRA, 2012). Na figura 1, abaixo, são representados o perfil laterítico, típico da bauxita da região e seus respectivos horizontes.



Figura 1 – Perfil laterítico típico. **Fonte** – GATIM - Gerência de terraplanagem e infraestrutura de mina – MPSA (2014)

. O perfil laterítico típico do platô M3 apresenta uma espessura média de capeamento ou de conteúdo estéril de 14m (CAP + BN + BNC + LF) e uma camada média de minério lavrável de 1,65m que corresponde às camadas BC + BCBA compondo então o depósito aproveitável da mina de bauxita Paragominas(FERREIRA, 2012).

3.2 Método de lavra e operações unitárias

O método mais propício para as características do depósito laterítico de Paragominas no platô M3 é o de lavra em tiras ou *strip mining*. O mecanismo operacional de lavra cabível configura-se em dividir a mina em vários blocos ordenados alfabeticamente, com 200 metros de comprimento para que sejam lavrados em faixas entre 20 a 30 metros de extensão, seja por meio do sistema convencional de lavra, seja por meio do sistema por minerador de superfície (PIMENTEL, 2010).

As operações unitárias de mina utilizadas na lavra de bauxita consistem nas seguintes etapas: desmatamento e limpeza das áreas a serem lavradas; remoção e estocagem do solo orgânico (*top soil*); decapeamento da camada de bauxita; raspagem, carregamento e transporte da laterita; escarificação, escavação, carregamento e transporte de bauxita e preparo para reabilitação da área minerada (PIMENTEL, 2010).

A infraestrutura de mina tem suas operações iniciadas com a supressão vegetal, remoção e armazenamento do conteúdo orgânico a ser espalhado para reabilitação da área, após a última etapa de infraestrutura de mina que corresponde à regularização do depósito.

3.3 MECANISMOS DE INFRAESTRUTURA DE MINA UTILIZADOS PELA EMPRESA

3.3.1 Acessos

Os acessos são os principais meios de ligar as frentes de lavra. Estes são utilizados para escoar o minério extraído nas linhas de produção à britagem primária, sendo estrategicamente posicionados de modo a facilitar tanto o escoamento da produção quanto a drenagem dos mesmos, uma vez que a presença de água é fator de instabilidade às operações.

O plano de acesso é escolhido conforme os custos associados à abertura de estrada, principalmente os de terraplanagem, considerando as condições geomorfológicas e geotécnicas

das áreas a serem transpassadas para execução de cortes. As vias de circulação a serem desenvolvidos em uma mina são as rampas operacionais e os acessos de contorno, a luz da Norma Reguladora de Mineração número 22 e do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

3.3.2 Drenagem

A presença de água é um fator potencial de problemas a produção, a estabilidade de taludes, a segurança e ao controle ambiental, trazendo para as atividades de extração um maior custo de operação. As operações de drenagem objetivam combinar melhores condições de trabalho, melhorar a estabilidade dos taludes, proteger as águas superficiais e dos aquíferos.

Existem várias soluções para o correto desvio e captação das águas superficiais objetivando a condução do fluxo na área alterada. Das possíveis medidas adotadas na empresa, para o sistema de drenagem, tem-se a construção de valas de drenagens em curva de nível no perímetro que envolve a zona de exploração, construção de diques de contenção de sólidos/amortecimento, estrutura de gabião, construção de sistema extravasor de gabião, drenagem nas rampas operacionais por valas laterais e a construção de sump's – reservatórios superficiais de água.

Por fim tem-se a regularização do depósito, no qual ocorre o nivelamento da área minerada antes que o conteúdo orgânico, junto aos restos de galhadas, seja espalhado para a reabilitação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Acessos

Os acessos de operação, bem como os acessos de borda, são confeccionados considerando os equipamentos de transporte que por ele trafegam. O maior equipamento que circula nas vias destinadas ao caminhão é o Semi - reboque Prancha com Dolly. A largura padrão das vias por onde esse equipamento circula é embasada na largura da prancha, correspondendo a 20 metros de largura, uma vez que a largura mínima, de acordo com a literatura, é de 5 metros x 3 = 15 metros. Nas rampas de operação, para facilitar o escoamento da produção, utiliza-se inclinação entre 0,5 e 1% no sentido longitudinal e de 8% em direção ao Box de lavra.

Para os acessos de borda utiliza-se a mesma literatura dos acessos principais, no que diz respeito à largura frontal do equipamento de transporte. Nessas vias somente os caminhos do tipo

Scania irão circular, logo a largura adotada para as mesmas corresponde a 10 metros, uma vez que a largura mínima permitida é de 7 metros (3,5 metros x 2).

As vias são constantemente monitoradas e para mantê-las em condições de trafegabilidade é utilizado o material laterítico que fora removido das faixas lavradas antes da escarificação do minério, o qual permite maior aderência dos pneus a elas. Leiras de segurança são implantadas durante e após a conclusão dos acessos, para permitir maior segurança aos equipamentos que irão trafegá-los e para evitar que a água de porções superiores transborde áreas adjacentes. Quanto à sinalização, pontaletes refletivos, cones, rotatórias e placas são alocados.

4.2 Drenagens

Para a drenagem da mina são utilizados gabiões, sistema extravasor de gabiões, bacia de dissipação ou dispersão, curvas de nível e *sump's*.

A principal finalidade dos gabiões é conduzir o escoamento superficial gerado no alto do platô até as partes mais baixas ou em sua base (igarapés). Essas estruturas são construídas à medida que a lavra progride e conforme a necessidade da área. Os gabiões são instalados, conforme o fluxo natural de água, próximo das grotas existentes.

As características do sistema extravasor são definidas a partir da bacia de dissipação considerando a sua dimensão. A área de bacia de contribuição apresenta 12,5 ha, dessa forma o número de tubos PEAD por gabião serão 3 unidades, com diâmetro de 12" e espessura de 7,7 mm que deverão estar sempre apoiados no solo e nunca com o ponto final na meia encosta.

Além de configurarem dispositivos de drenagem, os extravasores também são adotados para a contenção dos finos das vazões, de modo que não seja permitido o carreamento de uma elevada carga de sólidos a jusante para evitar o assoreamento em algumas áreas de igarapés.

As curvas de nível são canais de drenagem alocados conforme a topografia de mina, considerando o desnível do terreno, o qual irá proporcionar o direcionamento do fluxo da água natural do terreno acidentado evitando o escoamento para as áreas em que a atividade de lavra está ocorrendo. Elas são confeccionadas durante e após o desenvolvimento dos acessos para assegurar condições operacionais nos mesmos e são desobstruídos rotineiramente para permitir a passagem e direcionamento da água para os *sump's* e gabiões.

Os *sump's* são estruturas alocadas para canalizar a água dos acessos e rampas operacionais que serão posteriormente conduzidos para uma depressão onde se encontra uma bacia de contenção de sólido/amortecimento na qual está instalado o sistema extravasor de gabião.

No período que vai de dezembro a maio, quando os índices pluviométricos na região tornam-se acentuados, a canalização do fluxo de água ocorre por meio de valas de drenagem locadas nas laterais internas das vias operacionais. Essas águas posteriormente são captadas por *sump's* e remanejadas por bombas elétricas ao ponto de desague, nas bacias de contenção de sólidos/ amortecimento, que irá quebrar a velocidade do fluxo e reduzir a quantidade de sólido, antes deste seguir para o sistema extravasor de gabião.

4.3 Infraestrutura de mina realizada em período chuvoso

No período de janeiro a junho na região amazônica, devido ao clima que possui, o regime de chuvas é bastante intenso. Durante esse período faz-se necessário um ritmo mais acentuado das operações de infraestrutura de mina para contornar as dificuldades inerentes ao processo, a fim de que as estas sejam satisfatoriamente realizadas.

Grande parte da infraestrutura de uma mina visa contemplar o máximo desempenho dos equipamentos de transporte. A figura 2 ilustra as horas de infraestrutura de mina realizadas durante o período chuvoso considerando a produtividade dos caminhões.

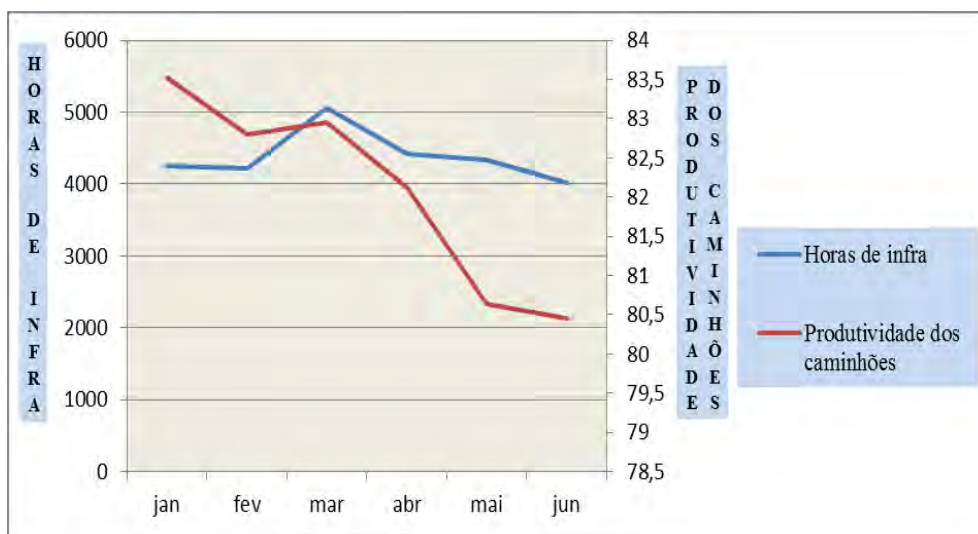


Figura 2 – Horas de infraestrutura e produtividade dos caminhões. **Fonte** – GAGPP – Gerência de planejamento de mina – MPSA (2013).

Observa-se que de janeiro a março, quando a precipitação pluviométrica é mais acentuada há necessidade de um maior número de horas de infraestrutura de mina realizadas para contemplar a produtividade dos caminhões, a qual mantém-se em níveis elevados, tendo em março, mês em que a incidência de chuvas é mais considerável, o seu maior índice de desempenho. A partir desse mês as operações de infraestrutura vão decrescendo até chegar a um nível comumente aceitável para o ritmo das operações. Apesar da queda abrupta da produtividade dos caminhões para esse período, esta ainda se mantém em nível cabível para os padrões estabelecidos pela empresa. Isso indica que as horas de infraestrutura realizadas superaram o necessário para esse período.

4.4 Não uso de ferramenta de infraestrutura de mina

As ferramentas de infraestrutura de mina são imprescindíveis para o resultado favorável do plano estratégico de extração do recurso mineral. Sem essas ferramentas, somado a contínua manutenção das mesmas, as operações de lavra podem ser prejudicadas e o objetivo da atividade mineradora, que é o de gerar lucro e reduzir os custos a ela associados, não ser contemplado.

As atividades de infraestrutura de mina ocorrem em sincronia de modo que qualquer dano ocasionado em uma destas poderá prejudicar o desempenho de outra atividade. Quando ocorre a incidência de algum problema as atividades, principalmente quando elas estão diretamente relacionadas às operações de lavra, as operações devem ser interrompidas para que os problemas sejam corrigidos, comprometendo a produtividade da mina, além dos danos aos equipamentos ou até mesmo a perda dos mesmos.

5. CONCLUSÕES

A mineração é uma atividade que está em constante evolução no sentido de granjear melhorias as atividades a ela relacionadas. Esse estudo elucidou a importância da infraestrutura de mina, não somente como um conjunto de ferramentas que irão oferecer o suporte as atividades de lavra, mas como quesito imprescindível para que o ritmo de produção de uma empresa seja mantido.

A Mina de Bauxita Paragominas localiza-se em uma região cujo índice pluviométrico é elevado, assim os mecanismos relacionados à drenagem devem ser frequentemente estudados,

com o propósito de que novas e melhores soluções sejam encontradas para minimizar as interrupções ocasionais.

Embora a empresa adote os mais variados mecanismos que lhe permitem satisfazer as necessidades de lavra e produção almejada, muito ainda há por fazer no sentido de aperfeiçoar esses parâmetros de infraestrutura, de modo que os custos inerentes à atividade sejam reduzidos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FERREIRA, L. F.M. Avaliação de três cenários operacionais no decapeamento da lavra de bauxita de Paragominas – PA. Marabá – PA: UFPA- Universidade Federal do Pará, 2013, 62 páginas. (Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia de Minas e Meio Ambiente).

GAGPP – Gerência de planejamento de mina – MPSA (2013). Relatório interno: plano anual de acesso e drenagem. 36 páginas.

GATIM - Gerência de terraplanagem e infraestrutura de mina – MPSA (2014). Relatório interno: atividades de infraestrutura. 38 páginas.

LOBATO, R. S. Análise de produtividade na operação de decapeamento de estéril da mina de bauxita de Juruti – PA. Marabá – PA: UFPA- Universidade Federal do Pará, 2012, 36 páginas. (Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia de Minas e Meio Ambiente).

MENDES, R. C. (2012). Diferentes metodologias de transporte de minério e estéril. In: Expositram Amazônia 2012 – 1º Workshop de Bauxita e Alumina da Amazônia. Belém, PA. 32 páginas.

PERONI, R (2007). Lavra a Céu Aberto: Teoria e prática. Departamento de Engenharia de Mina – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 34 páginas

PIMENTEL, E. N. Aspectos gerais da mina de bauxita de Paragominas. Estudo comparativo e elaboração de modelos ótimos de logística operacional – troca de turnos. Marabá – PA: UFPA- Universidade Federal do Pará, 2010, 51 páginas. (Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia de Minas e Meio Ambiente).

SAMPAIO J. A. et al. Bauxita. In: LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. Rochas e Minerais Industriais: usos e especificações. 2ª ed. – Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008.

A EFICIÊNCIA DO USO DE MACROS NA CONSTRUÇÃO DO PLANO DE LAVRA

João Cipriano Neto ¹, Jony Peterson de Oliveira Lima ²

¹ Geólogo, Diretor Técnico

² Engenheiro de Minas, Coordenador de Planejamento de Lavra

jony.lima@brennand.cimentos.com.br

RESUMO

Neste trabalho abordamos as aplicações e vantagens do uso de macros no processo de construção do plano de lavra. As macros foram criadas pelo software especialista Micromine™ e correspondem a um conjunto de comandos executados automaticamente numa ordem lógica. Este software permite que todas as atividades realizadas na construção do plano de lavra sejam otimizadas e alteradas desde a criação dos avanços de lavra até o pit final, já incluindo os cálculos de cubagem e plotagem do mapa; favorecendo, portanto, uma melhor análise e tomada de decisão. Inserimos no sistema dados (localização da jazida, distância do local de básculo, ângulos dos taludes, topografia da região, fatores geológicos entre outros) que possibilitam a elaboração do plano de extração da substância mineral pretendida. Considerando as macros uma ferramenta facilitadora na rotina de planejamento de mina, o objetivo do nosso trabalho é mostrar as vantagens proporcionadas pela utilização das macros na elaboração do plano de lavra.

PALAVRAS-CHAVE: lavra, macros, Micromine.

ABSTRACT

In this document we discuss the applications and advantages of the use of macros in the construction process of the mining plan. The macros were created by the expert software Micromine™ and are part of a command group automatically executed in a logical order. This software allows all of the activities performed in the construction of the mining plan to be optimized and altered from the creation of the mining advances to the final pit, already including the cubage

calculations and the map plotting; favoring, therefore, a better analysis and a better decision of the making. We inserted in the data system (field location, distance from the switch, the angle exposed soil, the region's topography, geological factors, etc..) that allow the formulation of the extraction plan of the desired mineral substance. Considering the macros as an facilitating tool in the routine of the mine's planning, the objective of our work is to show the advantages provided by the use of the macros in the elaboration of the mining plan.

KEYWORDS: mining, Macros, Micromine.

1. INTRODUÇÃO

O planejamento de lavra representa o processo para determinar o melhor projeto e sequenciamento para obtenção do bem mineral a ser explorado, obedecendo às restrições técnicas, operacionais, ambientais e de segurança visando a viabilidade econômica do projeto. A atividade de planejamento de lavra não deve ser executada apenas uma única vez, mas sim periodicamente, devido a vários motivos, principalmente circunstâncias econômicas, condições de mercado, novas informações relacionadas ao corpo mineralizado, segurança entre outros.

Segundo Potvin (2006), conceber, de maneira antecipada e abrangente, o potencial de um determinado empreendimento de mineração é um fator crítico para o sucesso do empreendimento. Sendo assim, um planejamento de lavra eficiente é fundamental para retorno do investimento aplicado.

Devido ao advento e evolução da informática, o uso do computador se tornou imprescindível no setor mineral. Existem vários softwares especialistas aplicados a geologia e engenharia de minas.

No nosso trabalho utilizamos o software MicromineTM ¹, onde conseguimos utiliza-lo desde a importação de furos de sondagem até a modelagem geológica, bem como criação dos planos de lavra, de forma mais rápida e eficiente, sua saída gráfica nos permite efetuar uma análise mais precisa da região do avanço ou cava.

¹ O Micromine foi desenvolvido pela empresa australiana de mesmo nome, líder mundial no fornecimento de soluções para todas as fases do processo de mineração.

Todos os dados para criação de uma cava, são inseridos no software, em seguida são projetados os pés, cristas e rampas, cria-se a superfície da cava retira-se a intersecção desta pela topografia tanto externa quando interna, obtendo a área da cava bem como seu volume. A partir do volume calcula-se a tonelada associada a esta cava, cortando este volume pelo modelo de blocos, obtemos a contagem de blocos no interior, esta contagem chama-se cubagem. Após esta cubagem é plotado na tela a topografia cortada pelo limite cava, gerando um mapa que faz parte do planejamento de lavra.

Todas estas etapas de projeto do avanço ou cava, corte com a topografia, cubagem e plotagem do mapa executadas no Micromine™ podem ser automatizadas utilizando o advento das Macros que são um conjunto de comandos executados automaticamente numa ordem lógica. Neste contexto este trabalho apresenta as vantagens no uso destas macros na criação do plano de lavra, obtendo mais agilidade e eficiência na criação da cava, aumento no tempo resposta numa possível mudança de cenário ou acompanhamento da lavra.

2. MATERIAIS E METODOS

2.1 Comandos utilizados para criação do plano de lavra

Para criação deste trabalho foi utilizado uma topografia regional: criamos uma cava com bermas de 15 metros, altura do talude de 10 metros, ângulo de 85° , o grade das rampas é de 10%, a cava foi feita no método open pit com 5 bancadas abaixo da cota do terreno. Todos os passos de projeto da cava foram criados no Micromine™.

Após abrir e criar um projeto no Micromine™, abrimos a topografia da região (Figura1(Passo1)) em seguida é criado um arquivo de Design de Cava (Figura1(Passo2)) onde adicionamos o nome do arquivo e setamos os parâmetros da cava, por fim dessa etapa criamos a crista da cava no local de interesse (Figura1(Passo3)).

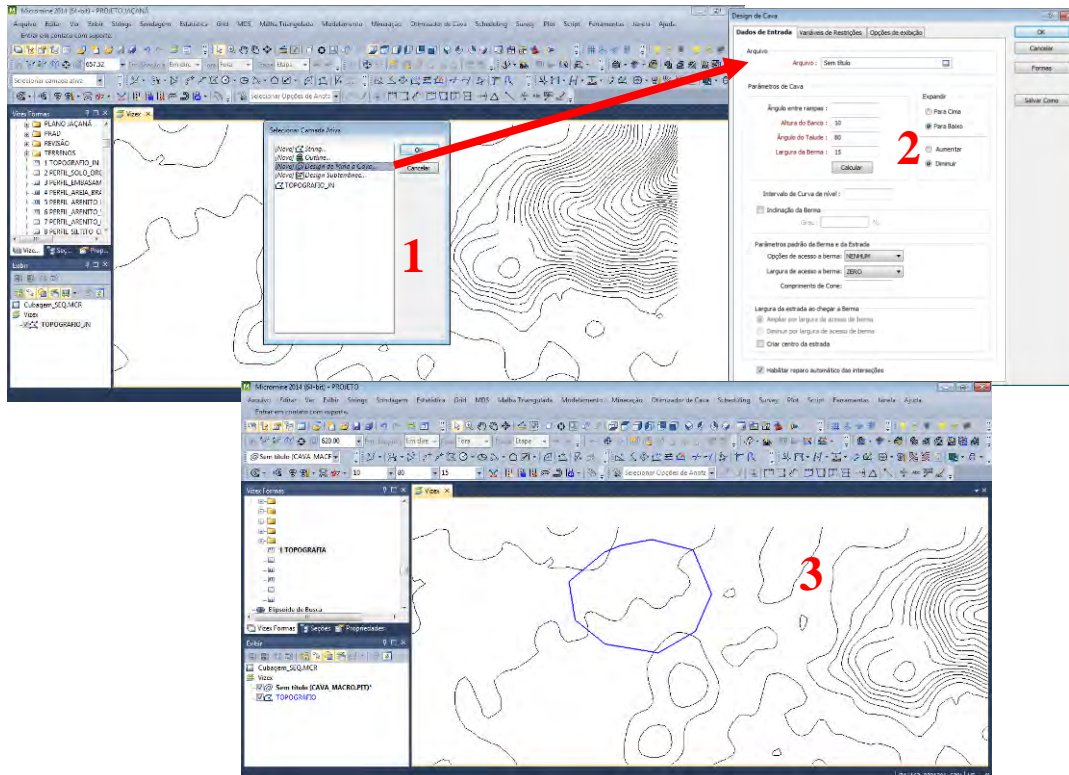


Figura 1 – Primeiros passos para criação da cava

Como a cava será projetada de cima para baixo, será criada um conjunto de rampas até o final do pit, ao clicar na ferramenta estrada para projetar a rampa, será solicitado o início da rampa e será chamado a janela de “propriedades da estrada”, ao clicar “OK” será projetada a rampa (Figura2(Passo4)), logo deve-se repetir o mesmo comando até alcançar o fundo da cava (Figura2(Passo5)).

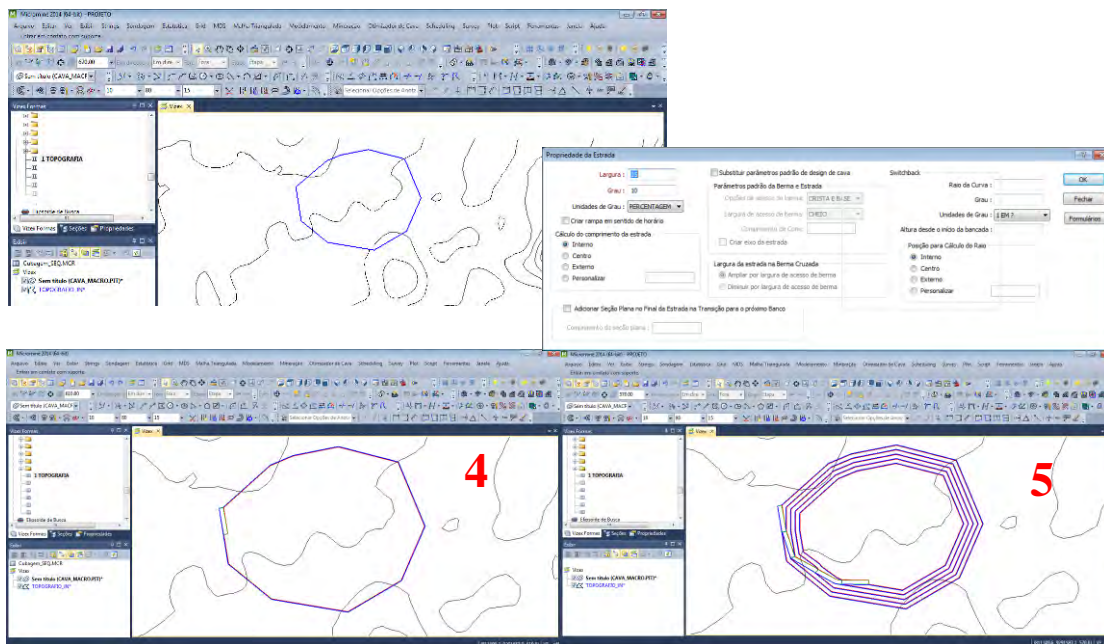


Figura 2 – Passo de criação do conjunto de rampas

Com a cava iremos criar as superfícies para cálculos de volume e tonelagem. Para criação da superfície da cava, devemos selecionar as cristas, pés e rampas e selecionar a opção de criação de superfície (MDS), será chamada a janela “contruir MDS”, onde salvamos o tipo de superfície e sua cor.

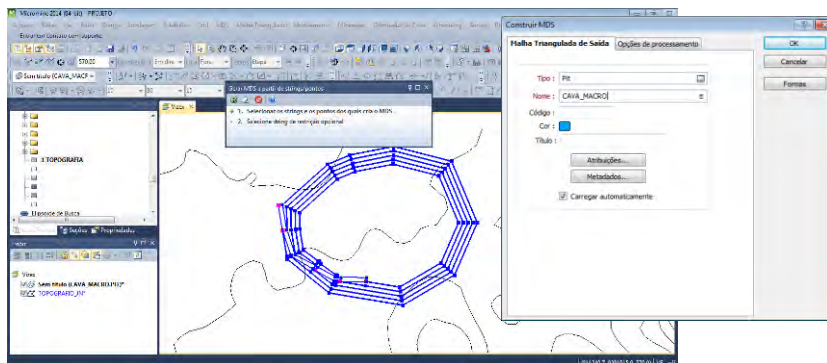


Figura 3 – Passo de criação da superfície da cava

Com a cava, topografia e o modelo de blocos, geramos o volume da cava (Figura4(Passo6)) e (Figura4(Passo7)) bem como a cubagem do modelo de blocos do interior do volume (Figura4(Passo8)), (Figura4(Passo9)) e (Figura4(Passo10)), estas são as informações necessárias para a criação do plano de lavra.

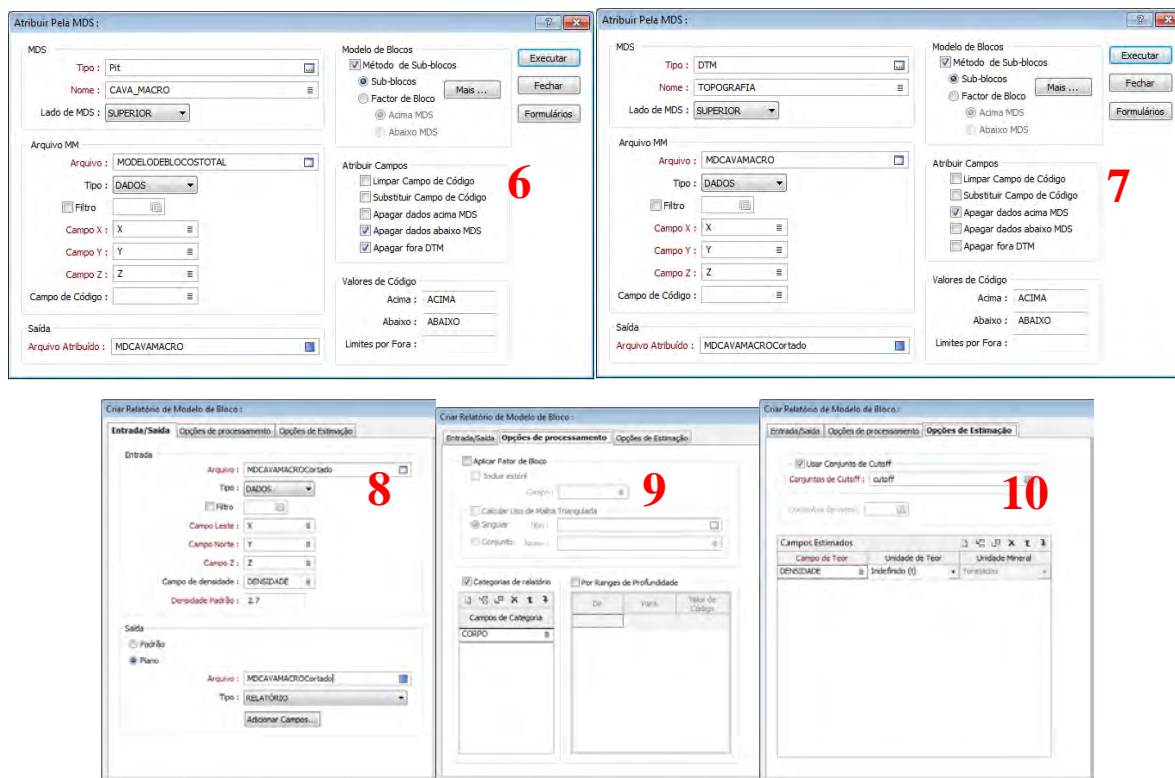


Figura 4 – Passos de criação da cubagem do volume da cava

O Micromine™, exporta os dados da cubagem do modelo para o Excel, para isso utilizamos a opção de “Exportar para Excel” onde chamamos o modelo do volume criado.

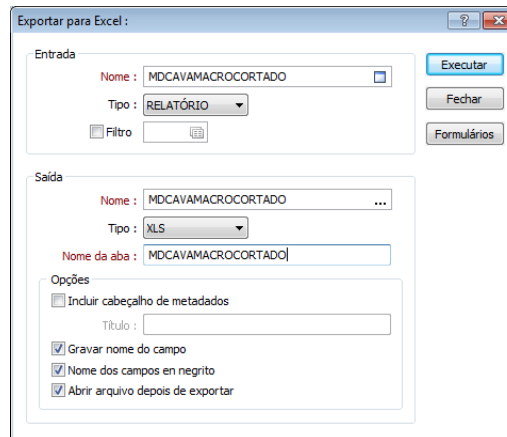


Figura 5 – Exportando para Excel

Para geração do mapa do plano criamos diversas operações booleanas entre as superfícies, o Micromine™, nos permite criar estas operações na mesma janela “Operações de Interseções de Malhas Trianguladas”, bastando apenas modificar a operação, primeiramente criamos o volume da cava (Figura6(Passo11)) em seguida o corte da topografia com a cava (Figura6(Passo12)).

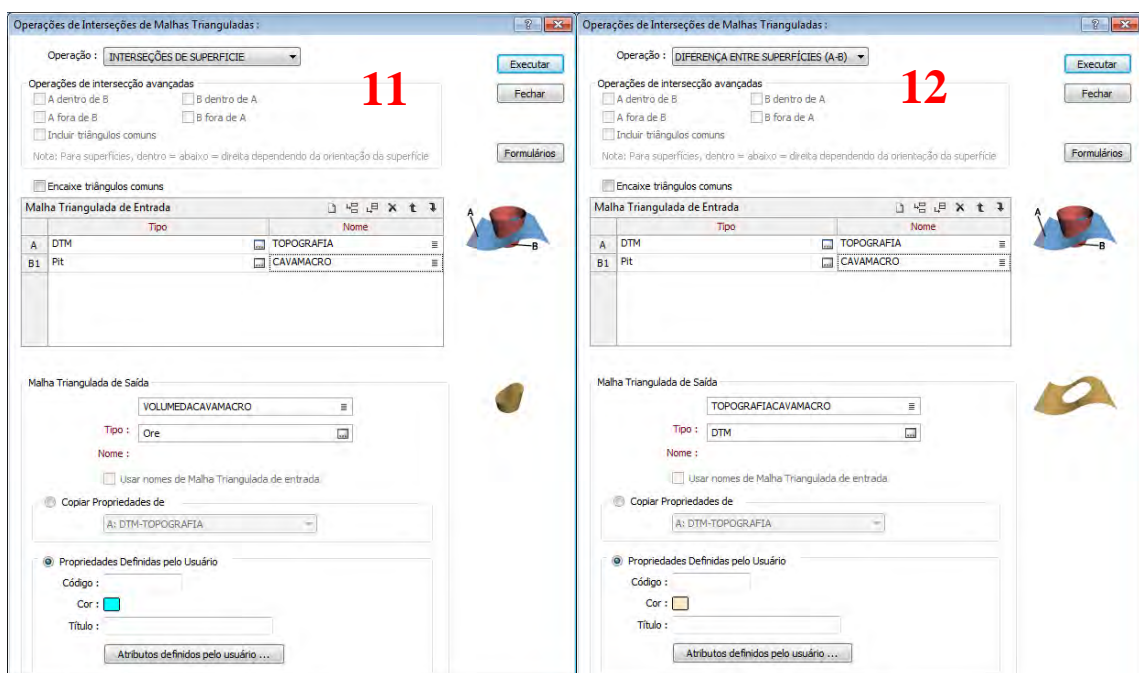


Figura 6 – Operações booleanas para criação da superfície e volume para o plano de lavra.

Para cortar a cava pela topografia (Figura7(Passo13)) em seguida criação do limite da cava utilizaremos a interseção booleana (Figura7(Passo14)), onde o resultado não será uma superfície e sim uma linha da região da cava. O resultado final será a cava, topografia e limite da lava (Figura7(Passo15)).

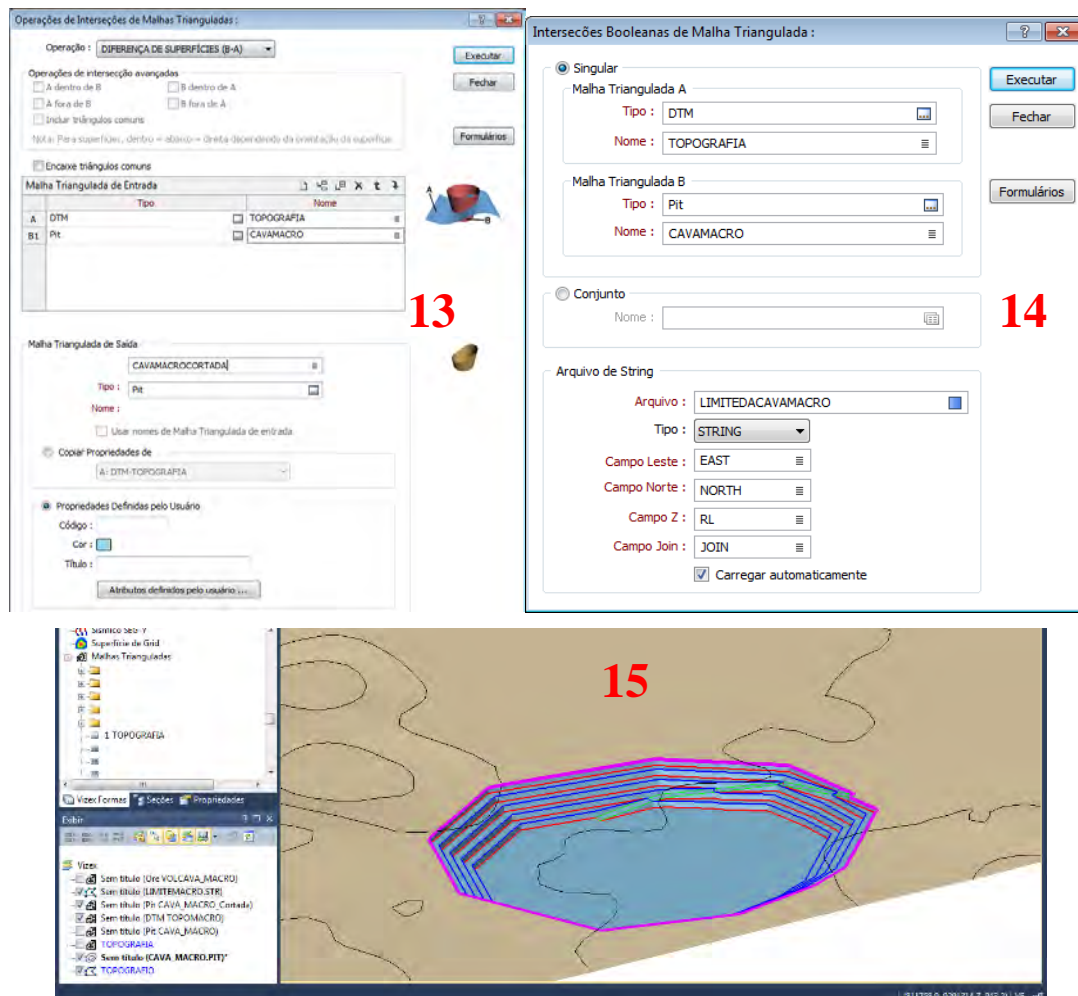


Figura 7 – Operações e interseções booleanas para criação da superfície e limite da cavapara o plano de lava.

Caso a cava não atenda o que se está buscando todos os passos anteriores deverão ser repetidos até a conclusão do plano de lava.

2.2 Criação da Macro no processo de elaboração do plano de lava

A Macro irá executar automaticamente todos os comandos que utilizamos para criação do plano de lava, para isto precisamos criar a Macro, essa etapa é feita apenas uma vez. A Macro pode ser editada quantas vezes for necessário caso queira adicionar ou retirar algum comando.

Para criar a Macro, chamamos um “Novo Arquivo” e (Figura8(Passo16)) e escolhemos um nome, seu tipo e título. Será criado uma tela para introdução dos comandos (Figura8(Passo17)), a primeira coluna chama-se PROCESSO, onde escolhemos o comando que iremos adicionar na MACRO, as colunas com “%”, são as entradas de dados que serão chamados automaticamente nos processos da macro, para isso devemos chamar sempre essa linha de COMMENT, pois o Micromine™, entenderá como comentário para entrada dos dados. Abaixo da linha COMMENT se escolhe o comando que irá iniciar a macro, nesse trabalho iniciaremos com a criação da superfície da cava, ao ser escolhido devemos clicar com o botão direito do mouse na coluna “Formulário” (Figura8(Passo18)), será chamado a janela do comando (Figura8(Passo19)), aonde for entrada ou saída de dados adicionar o “%” na posição da tabela da Macro, no caso na janela abaixo %1 será a entrada do arquivo do pit da cava. Ao concluir toda a setagem de entrada e saída de dados, deve-se salvar a tela para que a Macro sempre busque a mesma opção, para isso clicamos no botão Formas, onde a Macro entende cada tela como “Formulário”, em seguida clica no botão “Salvar Como” (Figura8(Passo20)), escolhe o número qualquer para o formulário e um nome condizente com a ação.

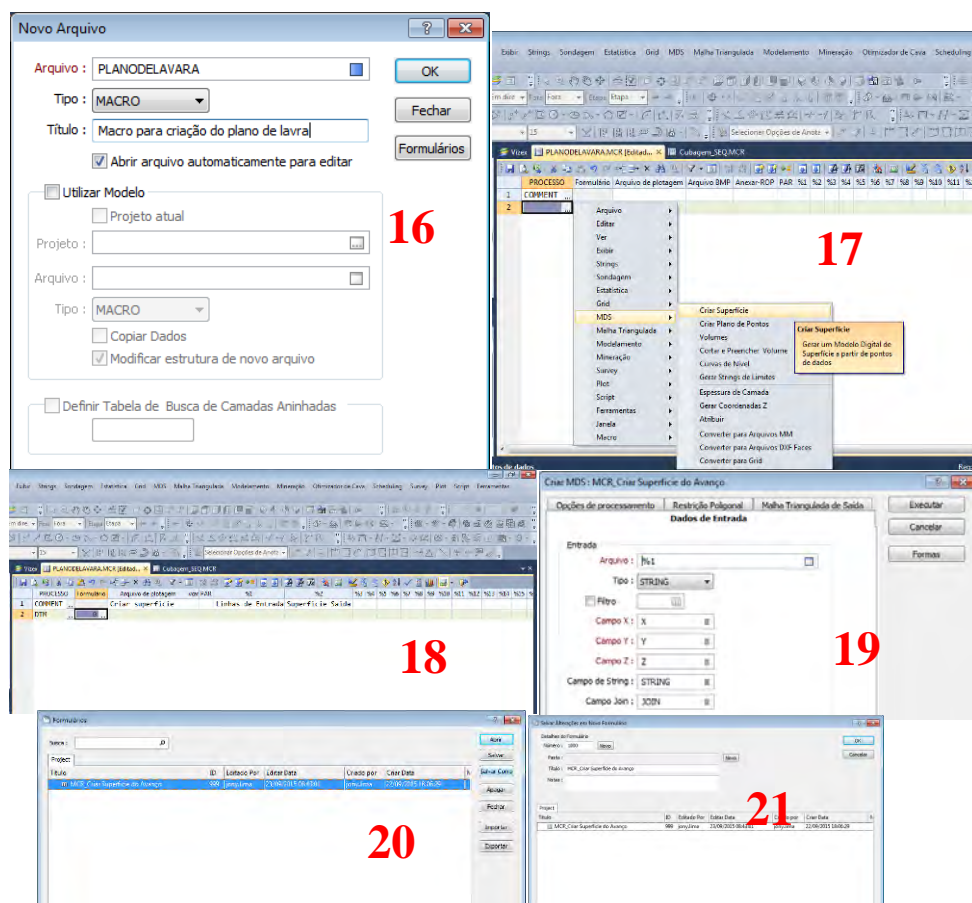


Figura 8 – Passos para criação da Macro que auxiliará na criação do plano de lavra.

Em seguida repete-se estes passos para todos os comandos utilizados para criação do plano de lavra, com suas entradas e saídas, de forma que o resultado final seja a (Figura9).

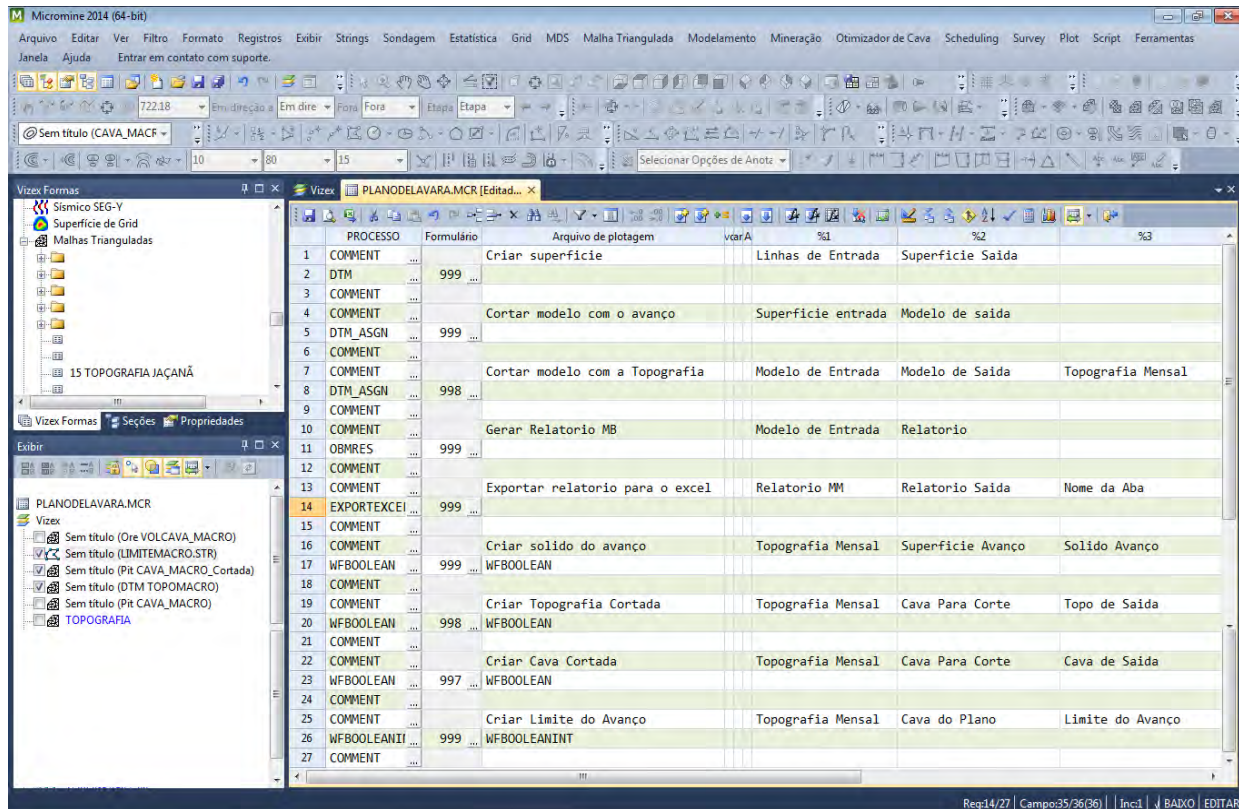


Figura 9 – Macro criada para automatizar a criação do plano de lavra.

3. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Para realização deste trabalho, utilizamos os comandos descritos no capítulo anterior para criação de uma cava no método open pit, o tempo total gasto para elaboração do plano foi de 11 minutos e 14 segundos. Considerando a macro já criada, a digitação das entradas e saídas de dados, o plano foi concluído em 1 minuto e 37 segundos, reduzindo o tempo de elaboração em 9 minutos e 37 segundos.

Conclui-se que a macro é uma ferramenta facilitadora na rotina de planejamento de mina, onde aumentamos o tempo de análise dos dados, podendo reduzir os custos da lavra e gerando mais cenários para o mesmo plano.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, Mônica do.; PINTO, Luiz Ricardo. Planejamento de Operações de Lavra em Minas a Céu Aberto com Alocação de Equipamentos de Carga e de Transporte. Trabalho apresentado no XLIISBPO – 2010. Disponível em: < www.din.uem.br/sbpo/sbpo2010/pdf/72525.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2016

SENHORINHO, N. C. S.; Otimização de Cava em Minas de Calcário para Cimento. In: Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2001.

TUTORIAL Micromine 2013. Versão 1.8. Belo Horizonte: BNA Consultoria e Sistemas, 2013. 140 p.

MODELO DE BLOCO DA MINA GALO BRANCO, EQUADOR - RIO GRANDE DO NORTE

Deyvine Henrique Ramos Silva¹ Marinésio Pinheiro de Lima²

¹ Graduando, Dep. de Eng. de Minas – DEMINAS, Uni. Fed. de Pernambuco - UFPE/MEC

² Eng. de minas, M.Sc., Dep. de Eng. de Minas – DEMINAS, Uni. Fed. de Pernambuco - UFPE/MEC

Deyvine_h@hotmail.com

RESUMO

O dimensionamento dos limites do corpo do minério de Caulim, do município Equador, Rio Grande do Norte, teve como objetivo a definição do modelo de blocos com auxílio do software *Datamine Studio 3*, o que nos possibilitou determinar o melhor método de lavra a ser utilizado. Os dados dos limites de comprimento e largura do corpo foram obtidos com o auxílio de GPS de precisão chegando a 420 metros e 70 metros, respectivamente, característica de um corpo tabular e alongado. Já os dados de profundidade foram obtidos em campo através de observações de poços feitos por antigos garimpos, tendo em vista o baixo custo do projeto, observando em média 30 metros, com o solo variando de 3 a 18 metros. Os teores, definido neste trabalho como rendimento, foram obtidos por meio de amostras tomadas no local e variou entre 5 e 30 %.

PALAVRAS-CHAVE: Limites, Blocos, Minério.

ABSTRACT

The sizing of the Kaolin mineral deposits boundaries of the municipality of Equador, Rio Grande do Norte, aimed to determine the block model with the aid of the *Datamine Studio 3* software, which allowed us to define the best mining method to be used. The data limits of length and width were obtained with the aid of precision GPS reaching 420 meters and 70 meters respectively, characteristics of a tabular and elongated deposit. The depth data were obtained in the field through the observations of pits made by previous miners, in view of the low cost of the project,

observing an average of 30 meters, with soil ranging from 3 to 18 meters. The contents defined in this study as yield, were obtained from samples taken on site and varied between 5 and 30%.

KEY WORDS: Boundaries, Blocks, Mineral

1. INTRODUÇÃO

Corpos minerais são acumulações de matéria mineral natural, limitadas por todos os lados e confinadas a um elemento (ou elementos) estrutural. Os limites dos corpos minerais podem ser naturais, tecnológicos ou econômicos (Sad; Valente, 2007). O conhecimento desses limites nos permite definir, o que podemos chamar da primeira fase de um empreendimento mineiro, o modelo de blocos, porém este não é definitivo, podendo ser modificado por motivos econômicos ou tecnológicos.

As jazidas minerais, até os anos 1960, eram representadas por secções contínuas. Por volta do fim dessa mesma década, técnicos das minas de pórfiros de cobre do sudoeste norte-americano (Arizona, Novo México e Utah) decidiram dividir os depósitos em termos de blocos com dimensões com largura e comprimento de 50 metros e altura variando 10 a 13 metros, com isso, eles avaliavam cada bloco individualmente de acordo com os atributos de interesse (Girodo, 2006). Com a utilização do modelo de blocos deixaram de usar o modelo tradicional, permitindo uma revolução na área de planejamento de mina, tornando-se imprescindível como ferramenta para todo engenheiro de minas. Com o desenvolvimento de modelos matemáticos específicos e o uso de computadores, possibilita uma atualização rápida dos planos de lavra, como também permite a abordagem de um grande número de parâmetros por meio de análises econômico-financeiras de sensibilidade.

A altura dos blocos corresponde normalmente à altura das futuras bancadas da exploração. Por seu turno, a localização/posicionamento dos blocos dentro do modelo depende de uma série de fatores, tais como, os contatos geológicos entre minério e estéril; interfaces entre tipos de mineralizações; zonas de teores elevados e baixos, etc. (HUSTRULID & KUCHTA, 2006).

Segundo Gama (1986), o conceito de bloco tridimensional tem sido essencial para o tratamento computacional, visto que este constitui, simultaneamente, uma unidade de informação (que se pode armazenar, recuperar, atualizar, mapear, etc.) e um volume a ser escavado (que possui teor, valor econômico e posição espacial claramente definidos na jazida), permitindo, desse modo, uma conceituação apropriada à seleção da alternativa mais lucrativa.

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

No início dos anos 60, baseado nas observações de Krige, o engenheiro de minas G. Matheron (1963, 1971) desenvolveu a teoria das variáveis regionalizadas, ou seja, das variáveis com condicionamento espacial. Ela foi definida como uma função espacial numérica, variando de um local para outro, apresentando continuidade aparente e cuja variação não pode ser representada por uma função matemática simples (LANDIM, 2006).

Segundo Burrough (1987 *apud* Camargo *et. al*, 1998) a teoria das variáveis regionalizadas implica que a variação de uma variável pode ser expressa pela soma de três componentes: i) uma componente estrutural, associada a um valor médio constante ou a uma tendência constante; ii) uma componente aleatória, espacialmente correlacionada; e iii) um ruído aleatório ou erro residual.

Se x representa uma posição em uma, duas ou três dimensões, então o valor da variável Z em x , é dado por:

$$Z(x_i) = M(x) + \varepsilon'_x + \varepsilon_i \quad (01)$$

Em que $M(x)$ é uma função determinística que descreve a componente estrutural Z em x ; ε'_x é um termo estocástico, que varia localmente e depende espacialmente de $M(x)$; e ε_i é um ruído aleatório não correlacionado, com distribuição normal com média zero e variância σ^2 . Sendo assim, a teoria das variáveis regionalizadas, base teórica da geoestatística, pode ser vista como um grande ramo da estatística espacial (CRESSIE, 1993), que estuda a relação de uma variável regionalizada com ela mesma numa outra posição.

2.1 Krigagem

Segundo Landim (2006), Krigagem é uma técnica de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço ou no tempo, a partir de valores adjacentes enquanto considerados como interdependentes pelo semivariograma. De acordo com o autor, trata-se em último caso de um método de estimativas por médias móveis. O termo Krigagem, do francês *krigeage*, foi cunhado pela escola francesa de geoestatística em homenagem ao engenheiro de minas sul-africano e pioneiro na aplicação de técnicas estatísticas na avaliação de reservas Daniel G. Krige. Abrange uma família de algoritmos conhecidos, entre outros, como krigagem simples, krigagem da média,

krigagem ordinária e krigagem universal (Yamamoto; Landim, 2013). Esse método é o mais avançado de estimação e refere-se ao modo de ponderar as diversas amostras disponíveis, atribuindo pesos maiores a amostras mais próximas e pesos menores a amostras mais distantes. O sistema de krigagem fundamenta-se na ideia de que quanto maior a covariância entre uma amostra x_i (em que $i = 1, 2, 3, (\dots) n$) e o local que está sendo estimado, x_0 , mais essa amostra deve contribuir para a estimativa. O sistema de krigagem considera, assim, tanto a distância entre as amostras quanto o seu agrupamento.

O uso do semivariograma para a estimativa por krigagem não exige que os dados tenham distribuição normal, mas a presença de distribuições assimétricas, com muitos valores anômalos, deve ser considerada, pois a krigagem é um estimador linear (LANDIM, 2006).

3. ESTUDO DE CASO

O estudo desse artigo se baseou nos dados na mina de Caulim do Projeto Galo Branco, localizado no município do Equador, Rio Grande do Norte. Serão apresentados neste tópico o banco de dados, bem como os resultados obtidos através da técnica de modelamento geológico e estimativa dos recursos.

3.1 Banco de dados

O banco de dados foi gerado a partir da observação de poços (40 furos) feitos por antigos garimpos, amostras recolhidas e pelo conhecimento prévio da geologia local. Neste trabalho iremos trabalhar teor como rendimento pois fica mais prático.

Tabela 1 - Banco de dados

BHID	FROM	TO	Rendimento %	Litologia	X	Y	Z
PC1	0	4.2	0	Solo	754201.3810	9231900.1236	672.8525
PC1	4.2	30	25.0	Caulim	-	-	-
PC2	0	4.2	0	Solo	754192.2745	9231907.3282	672.5775
PC2	4.2	30	26.0	Caulim	-	-	-
				...			
PC59	0	2.7	0	Solo	754453.6676	9232015.8725	677.0515
PC59	2.7	30	28	Caulim	-	-	-
PC60	0	2.8	0	Solo	754442.1503	9232009.6650	677.4515
PC60	2.8	30	28	caulim	-	-	-

Sendo: BHID – identificação do furo;
 From/To – início e fim, respectivamente, do trecho identificado;
 Rendimento – teor por trecho;
 Litologia – tipo de material;
 X, Y e Z – Coordenadas em UTM.

3.2 Resultados obtidos

Para a confecção do modelo de bloco da mina foi utilizado como ferramenta o software *Datamine Studio 3*, com o banco de dados geramos outras três tabelas (*assay*, *collar* e *geology*) que são necessárias para introdução dos dados no software:

Tabela 2 – Tabela *assay*

BHID	FROM	TO	RENDIM
------	------	----	--------

Tabela 3 – Tabela *collar*

BHID	XCOLLAR	YCOLLAR	ZCOLLAR
------	---------	---------	---------

Observação: nos campos *xcollar*, *ycollar* e *zcollar* preenche com as coordenadas dos furos.

Tabela 4 – Tabela *geology*

BHID	FROM	TO	LITO
------	------	----	------

Para gerar a topografia do local foi utilizado uma GPS de precisão, tomando as coordenadas, em UTM, dos furos e mais alguns pontos auxiliares:

Tabela 5 – Tabela da topografia

BHID	XCOLLAR	YCOLLAR	ZCOLLAR
------	---------	---------	---------

Após inserir todas as tabelas no software obtivemos os seguintes resultados:

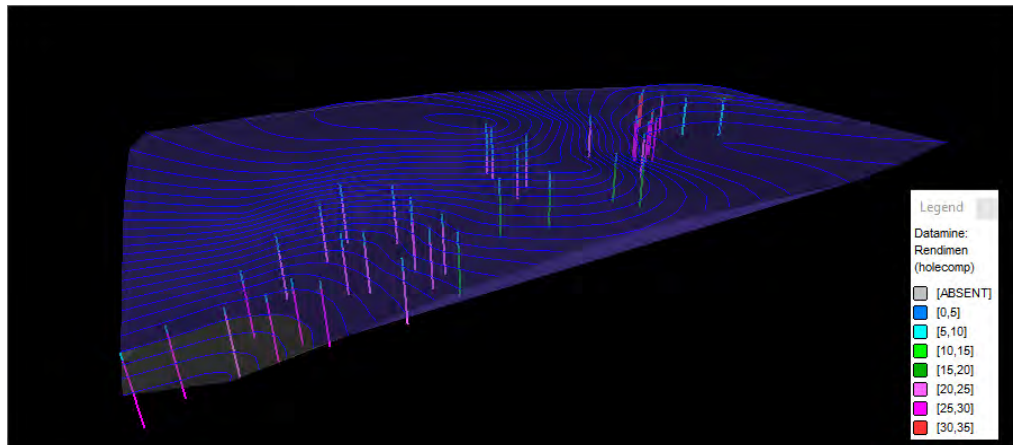


Figura 1 – Localização dos furos na topografia local; identificação do rendimento de cada furo.

O próximo passo foi gerar as seções perpendiculares delimitando o corpo de minério e o solo, separadamente:

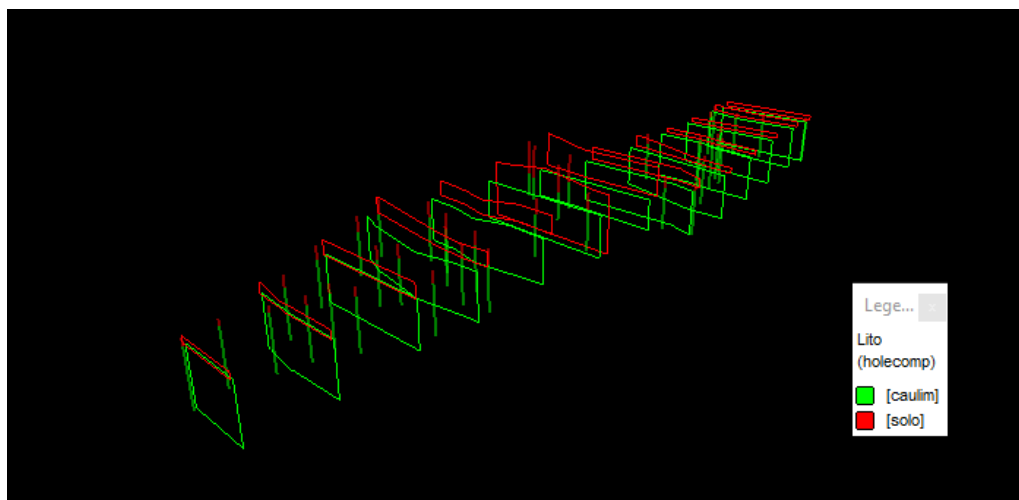


Figura 2 – Seções perpendiculares do solo (vermelho) e minério (verde).

Utilizando a ferramenta *Make DTM* e cria as *wireframes* do corpo de minério:

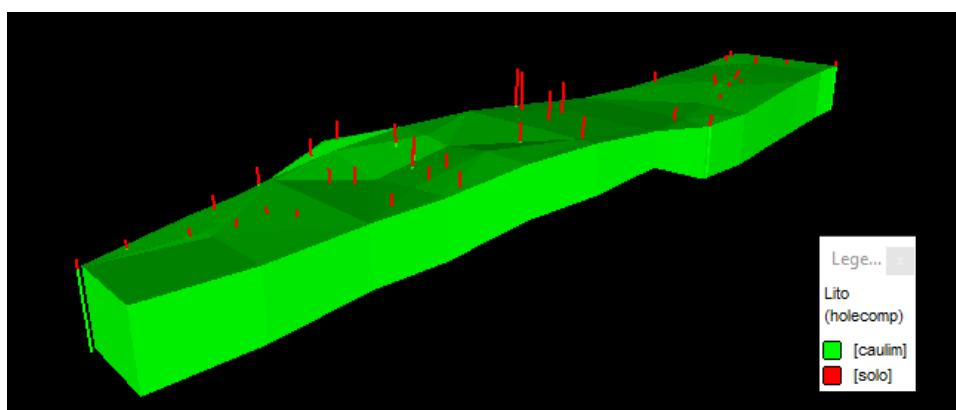


Figura 3 – Wireframe do corpo de minério.

Utilizando a ferramenta *Define and fill wireframe* gerou o modelo de blocos para o solo e o corpo de minério:

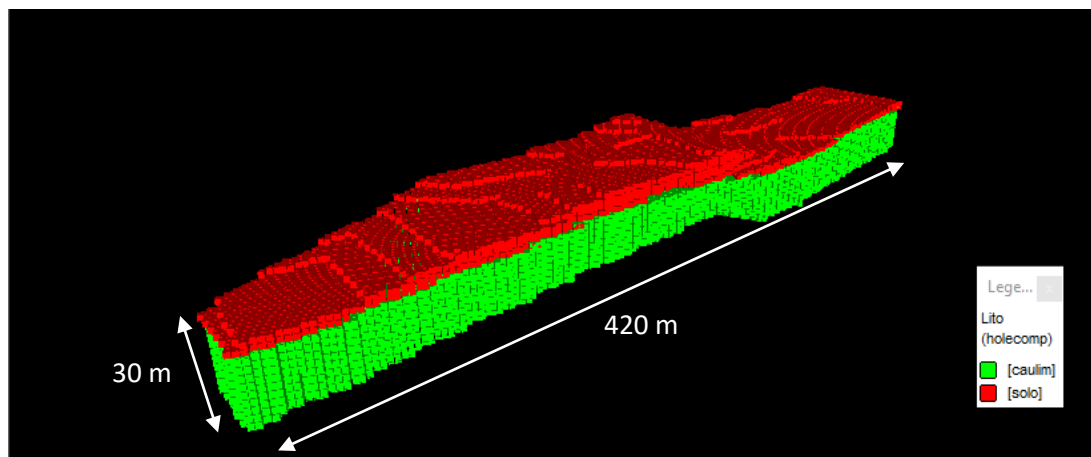
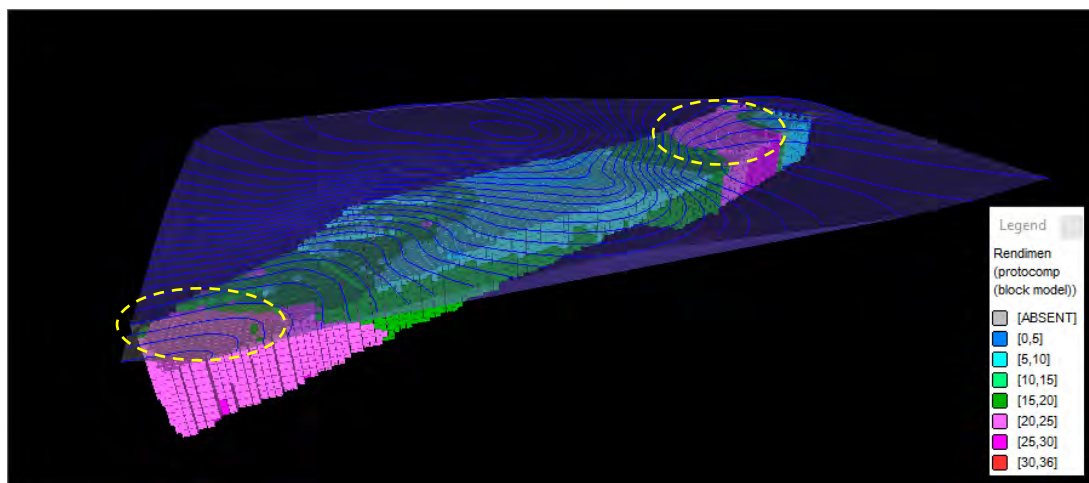


Figura 4 – Modelo de Bloco do corpo de minério de Caulim e do solo.

Aplicando o rendimento (teor) ao modelo de bloco do minério obtemos o seguinte resultado:



Observa-se que o corpo de minério é tabular e alongado, com rendimento variando entre 0 e 30 %, com média de 22,4%. De posse desses resultados já pode-se identificar o melhor local para a instalação da mina (círculos marcados na figura).

3.3 Estimativa de recursos

Utilizando a ferramenta de cálculo do volume do modelo de bloco comparando com a wireframe obtivemos o seguinte resultado:

Tabela 6 – Resumo do cálculo da estimativa dos recursos.

Volume do modelo de bloco (m³)	615.359,30
Volume da <i>wireframe</i> (m³)	640.789,10
Diferença de volume (m³)	25.429,80
Discrepância (vol. Bloco/ vol. Wireframe)	4,1%
Densidade do Caulim (g/cm³)	2,60
Tonelada de caulim (Ton)	1.599.934,18

Tabela 7 - Cálculo dos volumes e do rendimento médio por categoria.

Categoria	Massa (m³)	Rendimento médio (%)
[0,5]	0	0
[5,10]	274.50,7	7.834,0
[10,15]	113.476,2	13.175,0
[15,20]	191.321,9	17.397,0
[20,25]	178.630,8	22.344,0
[25,30]	104.232,4	27.000,0
[30,35]	0	0
TOTAL	615.359,3	19.250,0

4. CONCLUSÃO

A construção do modelo de blocos da mina e a estimativa dos recursos de minério se mostram essenciais no planejamento técnico/econômico, sendo a base sobre a qual serão estabelecidos os estudos de viabilidade econômica que se seguem. As atividades seguintes, localização da cava, sentido de avanço da lavra, localização da planta de beneficiamento e de construções de apoio, dependem desses prévios conhecimentos adquiridos.

Esse estudo buscou apresentar o método utilizado para obtenção do modelo de blocos, ilustrando, através de uma aplicação prática, na mina de caulim, em Rio Grande do Norte.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CETEM, a UFCG, UFPE e CAE Mining pela utilização do software DATAMINING Studio 3, para realização deste trabalho acadêmico.

6. BIBLIOGRAFIA

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment.** Oxford,: Clanderon, 1987. 193 p.

CRESSIE, N. **Statistics for spatial data.** New York: Wiley, 1993. 900 p.

GAMA, C. D. **Metologia de controle de lucro em mineração.** Publicação IPT 1661. São Paulo: IPT, 1986, 24p.

GIRODO, A. C. **Planejamento da produção mineral: material didático instrucional.** Belo Horizonte: letec, 2006.

GIRODO, A. C.; CAMPOS, A. C. A. **Curso rápido de geoestatística e planejamento mineiro.** Belo Horizonte: letec, 2006.

HUSTRULID, W.; KUCHTA, M. **Open pit mine planning & design. 2. Ed. Rev. ampl. Leiden,** 2006. 636 p.

LANDIM, P. M. B. **Sobre Geoestatística e mapas. Terræ Didática,** Rio claro, 2006.

MATHERON, G. **Le paramétrage technique des reserves.** Technical Report 453. Fontai-nebleau: Centre de Géostatistique et de Mophologie Mathématique, 1985.

SAD, J. H. G.; VALENTE, J. M. **Delineação de depósitos minerais.** Belo Horizonte: Rona, 2007. 272 p.

YAMAMOTO, J. K. **Avaliação e classificação de reservas minerais.** São Paulo: Edsusp: Fafesp, 2001. 226 p.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações.** São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 215 p.

ANÁLISE DA ESTABILIDADE DAS ESCAVAÇÕES NO PEGMATITO ALTO DA SERRA BRANCA

Marinésio Pinheiro de Lima.¹, Robson Ribeiro Lima², Francisco Wilson Holanda Vidal³

Elbert Valdiviezo Vieira⁴

¹ Eng. de minas, M.Sc., Dep. de Eng. de Minas – DEMINAS, Uni. Fed. de Pernambuco - UFPE/MEC

² Eng. de minas, M.Sc., Dep. de Eng. de Minas – DEMINAS, Uni. Fed. de Pernambuco - UFPE/MEC

³ Eng. de Minas, D.Sc., Eng de Minas, Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCT

⁴ Eng. de Minas, D.Sc., Dep. de Min. e Geologia – DMG, Uni. Fed. de Campina Grande – UFCG/MEC

marinesio.pinheiro@ufpe.br

RESUMO

O Pegmatito Alto da Serra Branca, localizado no município de Pedra Lavrada/PB vem sendo lavrado de forma artesanal a um bom tempo, produzindo em sua maioria feldspato sódico (albita), para o mercado da indústria cerâmica, e abastecimento de plantas de britagem e moagens locais. A boa qualidade do feldspato contido no pegmatito, e os minerais acessórios que ocorrem no mesmo como: tantalita e turmalina, proporcionaram uma escavação aleatória, gerando alguns locais onde as estruturas do maciço proporcionam potencialmente tipos de rupturas diferentes. O presente trabalho possui objetivo de avaliar os possíveis tipos de ruptura nos taludes existentes, escavados nos trabalhos de lavra executados até o momento. A análise cinemática realizada nas escavações consistiu no levantamento das propriedades geométricas das discontinuidades aflorantes nas faces dos taludes existentes. As atitudes das discontinuidades (mergulho e direção de mergulho) foram coletadas utilizando-se de trena e bússola para levantamento das scanline nas frentes de lavra. Em seguida os dados foram inseridos nos estereogramas, representando espacialmente as relações entre as estruturas geológicas do maciço e as atitudes dos taludes, proporcionando uma visualização dos possíveis tipos de ruptura para cada frente de lavra escavada. A discontinuidade mais representativa para a instabilidade das escavações do pegmatito possui mergulho variando de 20° a 30° com direção de mergulho que vai de 128 AZ a 135 AZ. Desta forma, foi avaliado cada direção de talude e sentido da escavação, concluindo-se

que o sentido de escavação mais desfavoráveis são as que possui rumo noroeste (315 AZ), e as mais favoráveis são as que possuem sudeste (135 AZ).

PALAVRAS-CHAVE: Lavra, Estabilidade, Pegmatito,

ABSTRACT

The pegmatite Alto da Serra Branca, located in the municipality of Transcribed stone / PB has been drawn up by hand for a long time, producing mostly sodium feldspar (albite), to market the ceramic industry and supply crushing plants and local mills. The good quality of feldspar contained in the pegmatite, and accessory minerals that occur in the same as tantalite and tourmaline, provided a random excavation, generating some places where massive structures potentially provide different types of breaks. This work has to evaluate the possible types of break the existing embankments, dug in mining work performed to date. Kinematic analysis in the excavations consisted of lifting the geometric properties of the outcropping discontinuities on the faces of existing embankments. The attitudes of discontinuities (dip and dip direction) were collected using a measuring tape and compass to survey the scanline in the mining fronts. Then the data was entered in stereograms, spatially representing the relationship between the massive geological structures and attitudes of slopes, providing a preview of the possible types of break for each front of excavated mining. The most representative discontinuity to the instability of pegmatite excavations have diving ranging from 20 to 30 with the direction of diving ranging from 128 AZ 135 AZ. Thus, we evaluated each direction of slope and direction of excavation, concluding that the sense of more unfavorable excavation are having towards northwest (315 AZ), and the most favorable are those with southeast (135 AZ).

KEYWORDS: mining, stability, pegmatite

1. INTRODUÇÃO

O maciço rochoso é um material agregado, que consiste de uma associação entre matriz rochosa e descontinuidades. Sua resistência e deformação dependem muito das características da matriz rochosa e das descontinuidades, e estão sujeitos a solicitações que afetam a sua estabilidade. O estudo de uma potencial instabilidade de um maciço requer um trabalho de campo cuidadoso e uma boa análise dos dados obtidos. As classificações geomecânicas se

tornaram uma ferramenta importante para se determinar um zoneamento geotécnico de um maciço rochoso. Por tanto, o registro das características geométricas e mecânicas de todas as descontinuidades dos taludes se tornam uma ferramenta fundamental para determinação das características geomecânicas dos maciços rochosos.

2. OBJETIVOS

O objeto geral do trabalho é fazer o levantamento dos parâmetros de classificação geomecânicas que compõe os sistema RMR e SMR, através das observações realizadas *in loco*, e ensaios laboratoriais, para verificar os possíveis tipos de ruptura nos taludes gerados pelas escavações existentes provenientes da lavra do Pegmatito Alto da Serra Branca.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizadas visitas ao Pegmatito Alto da Serra Branca localizado no município de Pedra Lavrada – PB, com intuito de fazer um levantamento das características do maciço rochoso, e coleta de amostras para ensaios laboratoriais, para determinação dos parâmetros do maciço.

3.1 Resistência da matriz rochosa à compressão uniaxial

Foram coletadas amostras nas frentes de lavra, em forma de bloco para realização de ensaios de compressão simples, densidade e porosidade, que foram realizados nos laboratórios do DMINAS da UFPE. Uma amostra, em forma de bloco foi encaminhada para a equipe da UFCG, para realização de medidas com o Martelo de Schmidt, para estimativa quantitativa da resistência a compressão simples. Foram realizadas 22 medidas entre vertical horizontal e diagonal. De posse da densidade da rocha foram lançados os valores da leitura nos ábacos para determinação da resistência a compressão simples da rocha, que deu 54 MPa.

3.2 Rock Quality Designation (RQD)

Foi determinado o RQD nas escavações existentes, onde foi observado o número de descontinuidades por unidade de volume (J_v), e aplicando na expressão empírica de Palmstrom (1975). $RQD = 115 - 3,3 \cdot J_v$

No maciço observou-se que o padrão de faturamento se repete ao longo do pegmatito. De acordo com os resultados obtidos podemos classificar o maciço, segundo o RQD, como BOM , onde os valores encontram-se dentro da faixa de 75 a 90%.

3.3 Espaçamento das descontinuidades

O espaçamento foi obtido durante um levantamento em *scanline*. De acordo com os levantamentos realizados ficou caracterizado um espaçamento médio em torno de 0,53 m para o maciço em questão.

3.4 Condições das descontinuidades

De acordo com a orientação para classificação das descontinuidades propostas pelo Sistema de Classificação RMR, foram levantados os seguintes parâmetros das descontinuidades:

- Comprimento de 3 a 10m (Peso = 4)
 - Abertura maior que 5mm (Peso = 4)
 - Rugosa (Peso = 5)
 - Enchimento mole e maior que 5 mm (Peso = 2)
 - Ligeiramente alterado (Peso = 5)
- Somatório dos pesos = 20**

3.5 Condições Hidrogeológicas e Orientação das Descontinuidades

A percolação está relacionada com o fluxo de água e humidade livre, visível em descontinuidades individuais ou no maciço rochoso de modo geral. No mapeamento observou-se um maciço totalmente seco.

A orientação das descontinuidades com relação escavação possui um caráter razoável, pois a mesma encontra-se a favor da inclinação com valor que varia 20° a 45° , compreendendo em um ajuste de fator razoável, com pontuação de -25, a ser aplicado para o cálculo do RMR.

3.7 Classificação Geomecânica RMR (Rock Mass Rating)

Desenvolvida por Bieniawski (1973, 1976, 1979, 1984, 1989). O valor de RMR pode ser determinado pela soma dos parâmetros: resistência da matriz rochosa; RQD - Rock Quality Designation; espaçamento das descontinuidades; condições das descontinuidades; condições hidrogeológicas; orientação das descontinuidades em relação à escavação. Obtendo-se um valor que varia entre 0 e 100.

Os pesos atribuídos a cada parâmetro do sistema de classificação encontram-se ilustrados no Quadro 01.

Quadro 01 – Parâmetros para classificação RMR

Parâmetros	Valores e Pesos				
	Compressão Simples (MPa)	> 250	250 - 100	100 - 50	50 - 25
Pesos	15	12	7	4	2
RQD	90-100	75-90	50-75	25-50	< 25
Pesos	20	17	13	8	3
Espaçamento das desc.	>2	0,6-2	0,2-0,6	0,06-0,2	<0,06
Pesos	20	15	10	8	3
Superfície das desc.	Muito rugosa, sem alteração preenchimento	Pouco rugosa leve alteração abertura <1mm	Pouco rugosa muito alterada abertura >1mm	Estriada preenchida <5mm ou abertura entre 1 e 5mm	Preenchida com argila <5mm ou abertura >5mm
Pesos	30	35	20	10	0
Condição de água no maciço	Seco	Úmido	Úmido	Gotejando	Fluxo alto
Pesos	15	10	7	4	0

3.8 Classificação SMR (Slope Mass Rating)

Um dos métodos que se utiliza para avaliar as situações de instabilidade em taludes rochosos, adaptação da classificação de Bieniawski, RMR, é a classificação geomecânica Slope Mass Rating (SMR). Esta classificação requer os mesmos dados e dá uma previsão de problemas de estabilidade e técnicas de apoio para cada classe de estabilidade.

$$SMR = RMR + (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4$$

F₁: depende do ângulo relacionado com a direção do mergulho das descontinuidades e do talude;

F₂: Depende da inclinação das descontinuidades no plano de ruptura;

F₃: Reflete a relação entre os ângulos do mergulho das descontinuidades e do talude referente ao P_6 do RMR;

F₄: Fator de ajuste relativo ao método de escavação utilizado.

Quadro 02 – Quadro para determinação dos parâmetros F1, F2 e F3 e F4 adaptado de Romana, (1996)

Tipo de situação		Muito favorável	Favorável	Normal	Desfavorável	Muito desfavorável
P	$ \alpha_j - \alpha_s $	>30	20 - 30	10 - 20	5 - 10	<5
B	$ \alpha_j - \alpha_s - 180 $					
P/B	F1	0,15	0,4	0,7	0,85	1
P/B	$ \beta_j $	<20	20 - 30	30 - 35	35 - 45	>45
P	F2	0,15	0,4	0,7	0,85	1
B		1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	>10	0 - 10	0	0 - -10	<-10
B	$\beta_j + \beta_s$	<110	110 - 120	>120	-	-
P/B	F3	0	-6	-25	-50	-60

Método	Talude natural ou vertentes	Desmorte de Pré-corte	Desmorte com explosivos do tipo <i>smooth blasting</i>	Desmorte com explosivos ou escavação mecânica	Desmorte com explosivo deficiente
F4	15	10	8	0	-8

Quadro 03 – Classificação da estabilidade (adaptado de Romana, (1996))

Classe	V	IV	III	II	I
Coesão (MPa)	<0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4
Ângulo de atrito (°)	15	15 - 25	25 - 35	35 - 45	>45
SMR	0 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100
Descrição	Muito má	Má	Normal	Boa	Muito boa
Estabilidade	Completamente instável	Instável	Parcialmente instável	Estável	Completamente estável
Roturas	Roturas de grandes dimensões por planos contínuos	Roturas planares ou roturas por cunhas de grandes dimensões	Algumas roturas planares ou muitas roturas por cunhas	Alguns blocos	Nenhuma
Sustimento	Re-escavação	Correcção	Sistemático	Ocasional	Nenhum

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Levantamento das descontinuidade

O levantamento das descontinuidades foi realizado no entorno da cava 01, onde se verificou o mesmo padrão em todo maciço. A Figura 01 ilustra a concentração dos polos das medições realizadas em campo, bem como, os planos preferenciais ocasionados pelas descontinuidades. Confirmando a presença de 03 famílias representativas, que irão interferir de forma diferenciada nas faces da escavação.

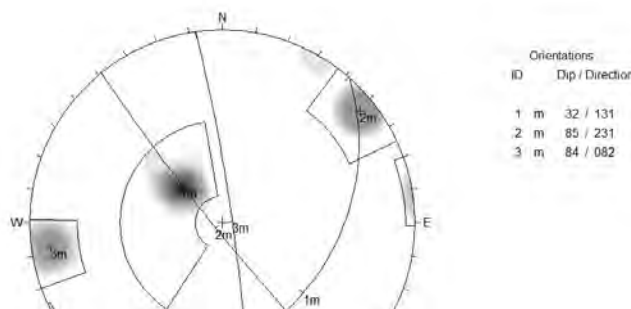


Figura 01 – Representação estereográfica das descontinuidades equivalentes

4.2 Classificação Geomecânica RMR (Rock Mass Rating)

Os parâmetros levantados com os respectivos pesos para o cálculo do RMR são:

Resistência a compressão simples: Peso = 7

RQD: Peso = 17

Espaçamento das descontinuidades: Peso = 10

Condições da superfície das descontinuidades: Peso = 20

Condição de água no maciço: Peso = 15

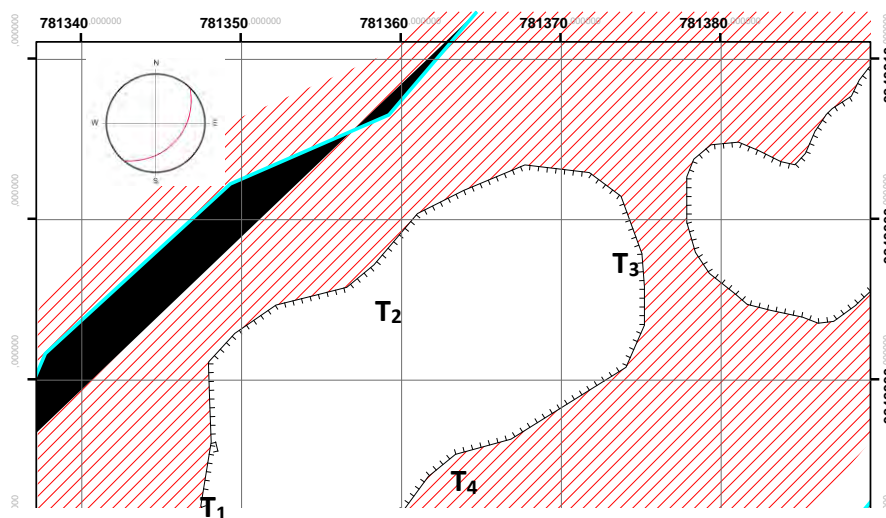
De acordo com o somatório dos pesos: $07 + 17 + 10 + 20 + 15 = 69$, aplicando-se o ajustes de (-25) temos o **RMR = 69 – 25 = 44**. Que caracteriza o maciço da seguinte forma:

- Classe do Maciço Rochoso = Rocha de qualidade razoável (classe III)
- Coesão do Maciço Rochoso = 200 KPa a 300 KPa
- Ângulo de Atrito = 25° a 35°
- Tempo de altosuporte para um vão de 5,0 m será de uma semana

4.3 Classificação Geomecânica SMR (Slope Mass Rating)

Os parâmetros do SMR foram calculados nas quatro faces dos taludes da cava 01 (Figura 02), e analisados de forma individual, tendo em vista uma análise da estabilidade de cada segundo a teoria Romana (1996).

Figura 02 – Detalhe da cava 01 onde foi realizado o estudo.



4.3.1 Determinação do SMR para T1

Com o mergulho igual a 32° e direção de mergulho igual a 131° , da principal família de descontinuidades do maciço, realizaram-se os cálculos do SMR com o talude T1, que possui direção de mergulho 90° AZ.

$$F1 = |131 - 90| = 41 > 30 \therefore \mathbf{F1=0,15}$$

$$F2 = |32| = 32 \therefore \mathbf{F2=0,70}$$

$$F3 = P6 \text{ (RMR)} \therefore \mathbf{F3=-50}$$

$$\mathbf{F4 = 0}$$

$$\text{Temos: SMR} = 44 + (0,15 \times 0,70 \times -50) + 0 \therefore \mathbf{SMR = 38,75}$$

4.3.2 Determinação do SMR para T2

Com o mergulho igual a 32° e direção de mergulho igual a 131°, da principal família de descontinuidades do maciço, realizaram-se os cálculos do SMR com o talude T2, que possui direção de mergulho 130° AZ.

$$F1 = |131-130| = 01 > 30 \therefore F1 = 1,00$$

$$F2 = |32| = 32 \therefore F2 = 0,70$$

$$F3 = P6 \text{ (RMR)} \therefore F3 = -60$$

$$F4 = 0$$

$$\text{temos: SMR} = 44 + (1,0 \times 0,70 \times -60) + 0 \therefore \text{SMR} = 2,00$$

4.3.3 Determinação do SMR para T3

Com o mergulho igual a 32° e direção de mergulho igual a 131°, da principal família de descontinuidades do maciço, realizaram-se os cálculos do SMR com o talude T3, que possui direção de mergulho 180° AZ.

$$F1 = |131-180| = 49 > 30 \therefore F1 = 0,15$$

$$F2 = |32| = 32 \therefore F2 = 0,70$$

$$F3 = P6 \text{ (RMR)} \therefore F3 = 0$$

$$F4 = 0$$

$$\text{temos: SMR} = 44 + (1,0 \times 0,70 \times 0) + 0 \therefore \text{SMR} = 44,00$$

4.3.4 Determinação do SMR para T4

Com o mergulho igual a 32° e direção de mergulho igual a 131°, da principal família de descontinuidades do maciço, realizaram-se os cálculos do SMR com o talude T4, que possui direção de mergulho 300° AZ.

$$F1 = |131-300| = 169 > 30 \therefore F1 = 0,15$$

$$F2 = |32| = 32 \therefore F2 = 0,70$$

$$F3 = P6 \text{ (RMR)} \therefore F3 = 0$$

$$F4 = 0$$

$$\text{temos: SMR} = 44 + (1,0 \times 0,70 \times 0) + 0 \therefore \text{SMR} = 44,00$$

Quadro 04 - SMR para diferentes tipos de rotura e respectivos métodos de suporte (Romana, et al., 2003)

Ruptura planar	Grande						Alguma				Nenhuma			
Basculamento	Grande						Alguma	Mínima		Nenhuma				
Queda de blocos	Possível						Nenhuma							
SMR	0 - 15	15 - 20	20 - 25	25 - 30	30 - 35	35 - 40	40 - 45	45 - 50	50 - 55	55 - 60	60 - 65	65 - 70	70 - 75	75 - 80
Reescavação	Modificação da geometria do talude e muros de contenção													
Drenagem	Drenagem superficial ou profunda													
Betão	Colocação de betão (betão projectado, contrafortes, muros no pé do talude)													
Reforço	Reforço do talude (pregagens, ancoragens)													
Protecção	Protecção do talude (redes metálicas, valas no pé dos taludes, protecção no pé dos taludes)													
Não aplicado											Não são aplicadas medidas de estabilização (possível retirada dos blocos instáveis)			

T2

T1

T3 e T4

5. CONCLUSÕES

Através dos valores de SMR pode-se verificar que o maciço rochoso analisado possui qualidade regular. No entanto o talude T2, apresenta o pior valor, e potencialmente mais instável, indicando até mesmo a realização de um retaludamento. Os problemas de instabilidade podem ser evitados inclinando as direcções de avanço, de forma a evitar a direcção de talude de 132° AZ.

A avaliação do maciço rochoso através do SMR possibilitou a compreensão da estabilidade do mesmo em relação a direcção de escavação. Deixando claro que o talude T2 é o talude mais instável da escavação existente no pegmatito.

O método de classificação geomecânica SMR, forneceu um resultado satisfatório, indicando que o maciço rochoso estudado é um maciço de qualidade regular, com níveis de instabilidade de acordo com a direcção do talude. Essa resposta possibilita um maior esclarecimento acerca dos perigos que envolvem a lavra na área em questão. A partir do SMR obtido pode-se propor cenários adequados do ponto de vista econômico e de segurança para a lavra garimpeira do Pegmatito Alto da Serra Branca.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CETEM, UFCG, UFPE, para realização deste trabalho acadêmico.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HUDSON, J. A. (2000). ENGINEERING ROCK MECHANICS.

GOODMAN, R.E. (1989). INTRODUCTION TO ROCK MECHANICS (2ND ED.). John Wiley & Sons.

DE LIMA, Marinésio P. Aspectos De Lavra De Feldspato Em Pegmatitos Da Província Da Bosborema. UFCG, 2002

Agencia Estadual de Meio Ambiente – CPRH, GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO, disponível em:

<http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/paraiba/relatorios/PEDR134.pdf> Acesso em: 1 de janeiro de 2016 às 20h00min.

MONTEIRO, Rosália I. M. R., Estudo geológico e geotécnico de taludes rochosos em S. Pedro da Afurada (Vila Nova de Gaia): contributos para a avaliação da estabilidade estrutural 2008.

Prefeitura Municipal de Pedra Lavrada – PB disponível em:

<http://www.pedralavrada.pb.gov.br/paginas/dados-geograficos> Acesso em: 1 de janeiro de 2016 às 16h00min.

SIMULAÇÃO E ANÁLISE DA FRAGMENTAÇÃO NO DESMONTE DE ROCHAS NA PEDREIRA HERVAL – BARREIROS – PE

Andrêvhity Carlos S. da Silva¹, 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 sequenciamento de atividades no processo de produção da mineração de uma pedreira envolve, basicamente, as operações unitárias: desmonte, perfuração, carregamento, transporte e britagem, as quais exigem rígido controle e acompanhamento contínuo. Uma das formas de otimizar o processo de produção em pedreiras, no que concerne ao desmonte de rochas, é a realização de uma análise estrutural mais detalhada dos maciços rochosos, visto que estes raramente apresentam uma estrutura homogênea possuindo redes de descontinuidades que impactam significativamente seu comportamento geomecânico. Portanto, torna-se imprescindível a determinação prévia das descontinuidades, estágio de deformação e comportamento geomecânico dos maciços rochosos mediante a aplicação de explosivos para que se obtenha êxito na etapa de desmonte. Outra forma de se obter uma melhoria na operação de desmonte é a aplicação de um modelo matemático para a simulação da fragmentação do desmonte de rochas e posteriormente adequar-se a granulometria do material proveniente da mina. Tais modelos consistem em equações que são utilizadas para estudo da interação entre explosivo e rocha. Neste contexto, visando à otimização da operação de desmonte da Pedreira Herval, este trabalho teve como objetivo aplicar um modelo matemático entre três propostos na literatura para a previsão da fragmentação de rochas e comparar resultados com um método de análise granulométrica por imagem para simulações desta operação.

PALAVRAS-CHAVE: desmonte, simulação da fragmentação, Kuz-Ram.

ABSTRACT

The activity sequencing in mining production process in a quarry mining basically involves unit operations: blasting, drilling, loading, transport and crushing, which require strict control and continuous monitoring. One way to optimize the production process in quarries, with respect to remove rocks, is to conduct a more detailed structural analysis of rock formations, since they rarely have a homogeneous structure having discontinuities networks that significantly impact behavior geomechanical. Therefore, it is essential prior determination of discontinuities, deformation stage and geomechanical behavior of rock masses by applying explosives in order to obtain success in dismantling step. Another way of obtaining an improvement in the blasting operation is the application of a mathematical model for the simulation of blasting rock fragmentation and subsequently adjusts the particle size to from the mine material. Such models consist of equations that are used to study the interaction between explosive and rock. In this context, aiming to optimize the dismantling of the quarry Herval operation, this study aimed to apply a mathematical model of three proposed in the literature for the prediction of rock fragmentation and compare results with a method of particle size analysis image for simulations of this operation .

KEYWORDS: disassemble, fragmentation simulation, Kuz-Ram.

1. INTRODUÇÃO

Vários autores têm estudado modelos de interação explosivo-rocha, que fornecem uma descrição útil do processo de detonação como um "background" para modelar o processo de fragmentação da rocha por explosivos. Entre os principais trabalhos destacam-se: Kuznetsov (1973), Cunningham (1983), Lilly (1986), Sarma (1994) e Djordjevic (1999).

Os maciços rochosos apresentam características geomecânicas que dependem, em primeiro lugar, da geologia das próprias rochas que os formam, mas também de alguns parâmetros geotécnicos que são intrínsecos de cada maciço e da sua história geotectônica (Hudson & Cosgrove, 1997). Raramente, os maciços rochosos apresentam uma estrutura homogênea e, como resultado da complexa história geodinâmica (expressa pelo campo de tensão regional a que foram sujeitos), apresentam uma rede de descontinuidades que terão impactos significativos no seu comportamento geomecânico (Rocha, 1981; Dinis da Gama, 1995). Portanto, há uma necessidade de se determinarem previamente as descontinuidades do maciço rochoso e o estágio de deformação alcançado, a fim de reduzir os custos do desmonte de rochas. Uma metodologia eficaz em tal processo e que será objeto de estudo nesse projeto, é a avaliação das descontinuidades, analisando os marcadores de deformação em maciços rochosos, estrutural e petrográficamente,

para posterior aplicação dessas descontinuidades no plano de fogo através do modelo matemático de Kuz-Ram.

2. O MODELO DE FRAGMENTAÇÃO KUZ-RAM

Nesse modelo as propriedades das rochas, as propriedades dos explosivos e as variáveis geométricas do plano de fogo são combinadas usando cinco equações que compõem o modelo de fragmentação Kuz-Ram (Lilly, 1998):

- Teoria de quebra (Kuznetsov, 1973): a quantidade de quebra que ocorre com uma conhecida quantidade de energia de um explosivo que pode ser estimada usando a equação de Kuznetsov.

$$X_{50} = A \times \left(\frac{V_0}{Q_e} \right)^{0,80} \times Q_e^{1/6} \times \left(\frac{E}{115} \right)^{-19/30} \quad (1)$$

onde X_{50} é o tamanho médio de partícula (cm), A é o fator da rocha, V_0 é o volume de rocha desmontada por furo (m^3), Q_e é a massa do explosivo utilizado (kg) e representa a energia relativa em massa (RWS) do explosivo comparado ao ANFO.

- Teoria da distribuição do tamanho das partículas de Rosin-Rammler: a distribuição do tamanho das partículas da rocha fragmentada pode ser determinada a partir do tamanho médio, se o modelo de quebra é conhecido.

$$P = 100 \times \left[1 - e^{-0,693 \times \left(\frac{X}{X_{50}} \right)^n} \right] \quad (2)$$

onde P é o percentual passante, X é o tamanho da malha da peneira e n é o índice de uniformidade.

- Teoria de detonação do explosivo (Tidman): a quantidade de energia liberada pelo explosivo é calculada usando a equação de Tidman.

$$E = \left(\frac{VOD_e}{VOD_n} \right)^2 \times RWS \quad (3)$$

onde E é a energia efetiva relativa por massa do explosivo; VOD_e é a velocidade de detonação efetiva do explosivo (medida em campo); VOD_n é a velocidade de detonação nominal do explosivo (m/s) e RWS representa a energia por massa relativa ao ANFO (%).

- Correlação dos parâmetros do plano de fogo (Cunningham, 1987): existe uma correlação entre as várias configurações dos planos de fogo e o modelo de fragmentação da rocha.

$$n = \left[2,2 - 14 \times \left(\frac{B}{D} \right) \right] \times \left[\frac{(1 + S/B)}{2} \right]^{0,5} \times \left[\left(1 - \frac{W}{B} \right) \times \frac{L}{H} \right] \quad (4)$$

onde **B** é o afastamento (m); **S** é o espaçamento (m); **D** é o diâmetro do furo (mm); **W** é o desvio padrão da perfuração (m); **L** é o comprimento total de (m) e **H** é a altura do banco (m). Quando se utiliza dois explosivos no furo (carga de fundo e carga de coluna) a equação é modificada para:

$$n = \left[2,2 - 14 \times \left(\frac{B}{D} \right) \right] \times \left[\frac{(1 + S/B)}{2} \right]^{0,5} \times \left\{ \left(1 - \frac{W}{B} \right) \times \left[\text{abs} \times \frac{(BCL - CCL)}{L} + 0,1 \right]^{0,1} \times \left(\frac{L}{H} \right) \right\} \quad (5)$$

onde BCL é o comprimento da carga de fundo (m); CCL é o comprimento da carga de coluna (m); abs é o valor absoluto referente a (BCL – CCL)/L.

- Correlação dos tipos de rochas (Lilly, 1986): as propriedades e características do maciço rochoso interferem no resultado da fragmentação da detonação. A classificação geomecânica de Lilly, e posteriormente modificada por Cunningham, é utilizada no modelo de fragmentação de Kuz-Ram.

$$A = 0,06 \times (RMD + RDI + HF) \quad (6)$$

onde A é o fator rocha, e os valores do RMD são obtidos a partir da classificação geomecânica de Lilly e os demais parâmetros são obtidos com o auxílio das equações:

$$RDI = 25d - 50 \quad (7)$$

$$HF = E/3 \text{ se } E < 50GPa \quad (8)$$

$$HF = UCS/5 \text{ se } E > 50GPa \quad (9)$$

onde d é a densidade da rocha, E representa o módulo de Young (GPa) e UCS a resistência à compressão uniaxial da rocha (MPa).

A classificação completa para a obtenção do fator da rocha está apresentada na tabela 1.

Tabela 1 - Classificação do fator da rocha

<i>Símb.</i>	<i>Descrição</i>	<i>Classificação</i>	<i>Índice</i>
RMD	Descrição do maciço rochoso	Friável	10
		Faturado	JF
		Maciço	50
JF	Maciço fraturado	JPS + JPA	
JPS	Espaçamento das descontinuidades (m)	< 0,10 m	10
		0,10 a MS	20
		MS a DP	50
MS	Overize da britagem primária (m)		
DP	Parâmetros da malha de perfuração (m)		
JPA	Direção e mergulho com relação a face livre	Horizontal	10
		Mergulhando para fora da face livre	20
		Direção perpendicular à face livre	30
		Mergulhando para dentro da face	40
Influência da densidade			
RDI	(densidade da rocha intacta, g/cm ³)	RDI = 25d -50	
HF	se E < 50 GPa	HF = E/3	
	se E > 50 GPa	HF = UCS/5	
E	Módulo de Young (GPa)		
UCS	Resistência à compressão uniaxial (MPa)		

Fonte: Hustrulid, 1999. Modificado por Moraes, 2004.

3. ANÁLISE DE FRAGMENTAÇÃO ATRAVÉS DE TRATAMENTO DE IMAGEM

Para a análise da fragmentação do desmonte, foi utilizado o programa Split-Desktop® Version 3.1 e fotos da pilha desmontada adquiridas no campo. Este programa é um recurso usado no processamento de imagens para calcular a distribuição do tamanho de fragmentos de rocha através da análise digital de imagens em tons de cinza. As imagens digitais podem ser adquiridas com uso de câmera digital, ou provenientes da pilha de material na praça (superfície original ou do corte da escavação), caminhão de transporte e correia transportadora, cujo processo é abordado sucintamente.

4. METODOLOGIA

As atividades desenvolvidas na pedreira Herval, em Barreiros - PE para a coleta de dados foram: reconhecimento das frentes de lavra, medição das frentes para determinar os pontos das fraturas existentes, orientação das atitudes (sentido e mergulho) das fraturas e levantamento detalhado do plano de fogo. Para manipular os dados adquiridos foram utilizados o software Split-Desktop para análise da fragmentação através de imagens e o modelo de fragmentação de Kuz-Ram.

4.1 Previsão da Fragmentação através do Modelo Kuz-Ram

O modelo Kuz-Ram é frequentemente usado para previsão da fragmentação, pois, até os modelos mais recentes se baseiam no modelo convencional de Kuz-Ram. Este modelo é baseado em equações empíricas que predizem o tamanho médio de fragmento a partir da razão de carga, massa de explosivo por furo, energia relativa em massa do explosivo e do índice de blastabilidade. Este modelo necessita de informações sobre o maciço rochoso. Nas equações apresentadas existem fatores que dizem respeito sobre as características geomecânicas e geológicas da rocha. Para isso a classificação será realizada com base na tabela 2 de classificação geomecânica proposta por Bieniawski (1989).

Tabela 2 - Tabela para determinação do valor da resistência a compressão simples

Parâmetros	Coeficientes						
	>250	100 – 250	50 – 100	25 – 50	5 – 25	1 – 5	<1
Resistência à rotura por compressão Uniaxial (Mpa)	>250	100 – 250	50 – 100	25 – 50	5 – 25	1 – 5	<1
Peso RMR	15	12	7	4	2	1	0
RQD (%)	90 – 100	75 – 90	50 – 75	25 – 50	<25		
Peso RMR	20	17	13	8	3		
Espaçamento das descontinuidades	>2 m	0,6 – 2 m	200 – 600 mm	60 – 200 mm	<60 mm		
Peso RMR	20	15	10	8	5		
Condição das Descontinuidades	Superfícies muito rugosas, não contínuas. Sem abertura. Paredes não meteorizadas	Superfícies ligeiramente rugosas. Abertura <1mm. Paredes ligeiramente meteorizadas	Superfície ligeiramente rugosas. Abertura <1mm. Paredes meteorizadas	Superfícies lisas ou com enchimento <5mm ou aberturas contínuas 1 - 5mm	Enchimento com >5mm ou aberturas contínuas com > 5mm		
Peso RMR	30	25	20	10	0		
Presença de água nas descontinuidades	Completamente seco	Úmido	Molhado	Escorrimento	Fluxo contínuo		
Peso RMR	15	10	7	4	0		

Fonte: Adaptado de Bieniawski (1989)

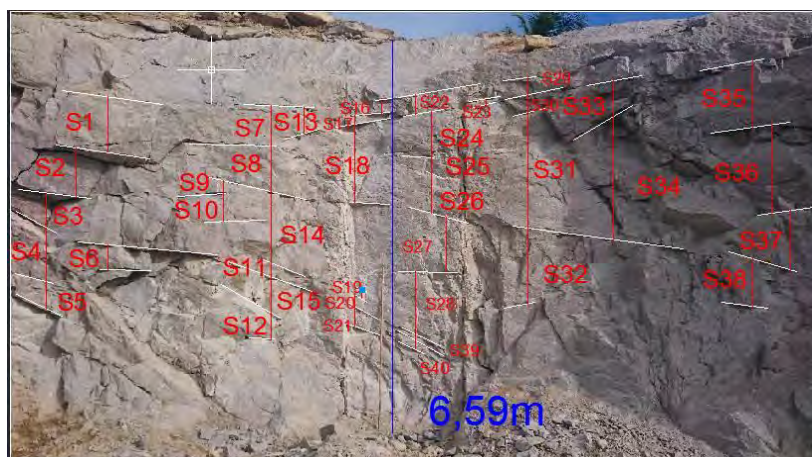


Figura 1 – Face da Bancada mostrando as descontinuidades e as distâncias entre elas

Para se determinar o RMR foi necessário identificar na face da bancada as descontinuidades presentes bem como medir as distâncias entre elas em campo, a presença de água nas descontinuidades, o grau de meteorização das descontinuidades e as características das suas rugosidades. Todas as informações foram medidas em campo durante a visita a Pedreira Herval, conforme a tabela 3.

Tabela 3 – Resumo da Classificação o Maciço Rochoso da Pedreira Herval

PARÂMETROS	PESOS
Resistência à Compressão Uniaxial	12
RQD (%)	20
Espaçamento entre as Descontinuidades	15
Condição das Descontinuidades	20
Presença de Água nas Descontinuidades	15
PESO TOTAL	82

4.2 Simulação da Fragmentação através do Modelo De Kuz-Ram

Para a simulação do desmonte de rochas na Pedreira Herval através do modelo de Kuz-Ram, foi desenvolvida uma planilha usando o software Excel, para auxiliar nos cálculos das equações proposta pelo o modelo. Os resultados da simulação são mostrados a seguir, nas tabelas 4 e 5 que mostram os parâmetros do plano de fogo, dados do modelo de kuz-Ram e resultados de fragmentação de rocha pelo modelo de Rosin-Rammler para o desmonte.

Tabela 4 – Acompanhamento do Desmonte na Pedreira Herval

Identificação		Cálculo das Cargas	
Pedreira: Herval		Carga de Coluna (m)	0,00
Bancada:		Carga de Fundo (m)	5,50
Data do Desmonte: 19/06/2015		Carga Total (m)	5,50
		RC (Kg/m ³)	0,80
Diâmetro do Furo (pol)	3,0	Explosivo Consumido(kg)	
Afastamento (m)	1,6	Emulsão bombeada	0,00
Espaçamento (m)	3,2	Emulsão Encartuchada 2 ^{1/4} "x24"	1650,00
Inclinação (graus)	15	Total	1650,00
Tampão (m)	1,0	Material de Explosivo	
Metro Perfurados	403,00	Explosivo	Quantidades
Número de Furos Total	62		
Comprimento Médio dos Furos	6,50	Emulsão Encartuchada	1650,00
Fator de Empolamento	1,5		
Altura Média	6,28	tubo de Choque de Ligação(17/25/42) ms	61
Volume por Furo (in situ)	33,28		
Volume Total (in situ)	2063,36		
Volume Total(empolado)	3095,0	Espoletim	2
Carga Explosiva	Diâmetro	RLC (Kg/m)	
Emulsão Bombeada	3,00	4,69	
Emulsão encartuchada	2,25	4,84	

Tabela 5 – Dados do modelo de Kuz-Ram de Rochas do desmonte

RMD	Descrição		Classificação	Índice
	Descrição do Maciço Rochoso		Friável	10
		Fraturado	JF	
		Maciço	50	
JF	Maciço Fraturado		JPS + JPA	
JPS	Espaçamento das descontinuidades(m)		< 0,10 m	10
			0,10 a MS	20
			MS a DP	50
MS	Oversize da britagem primária (m)			
DP	Parâmetros da malha de perfuração (m)			
JPA	Direção e mergulho com relação a face livre		Horizontal	10
			Mergulhado para fora da face livre	20
			Direção perpendicular à face livre	30
			Mergulhado para dentro da face livre	40
RDI	Influência da densidade(g/cm ³)		RDI = 25d - 50	18,75
HF	Se E < 50 Gpa		HF = E/3	0
	Se E > 50 Gpa		HF = UCS/5	35,33
E	Módulo de Young(Gpa)			64
USC	Resistência a compressão uniaxial (Mpa)			176,63
Fator Rocha (A)			Equação Tidman: Energia do Explosivo(Er)	
RMD	50		VODE	4100
RDI	18,75		VODn	5000
HF	35,33		RWS	86
A	6,2448		Er	57,8264
Equação de Kuznetsov				
VO	Volume de Rocha Desmontada			2063,36
Qe	Massa de explosivo (Kg)			1650,44
K	Razão de carga (Kg/m ³)			0,80
X50	Tamanho médio da partícula (cm)			39,76
Índice de uniformidade de Cunningham(n)				
B	Afastamento (m)		1,6	Obs.: Os valores de RWS, VODE e VODn foram fornecidos pela Elephant Indústria Química LTDA.
S	Espaçamento (m)		3,2	
D	Diâmetro do furo (mm)		76,2	
W	Desvio padrão da perfuração (m)		0,00	
L	Comprimento total da carga (m)		5,50	
H	Altura do Banco (m)		6,50	
n			1,975	

A figura 2 mostra a distribuição granulométrica teórica do desmonte na Pedreira Herval obtida através do modelo de Rosin-Rammler.

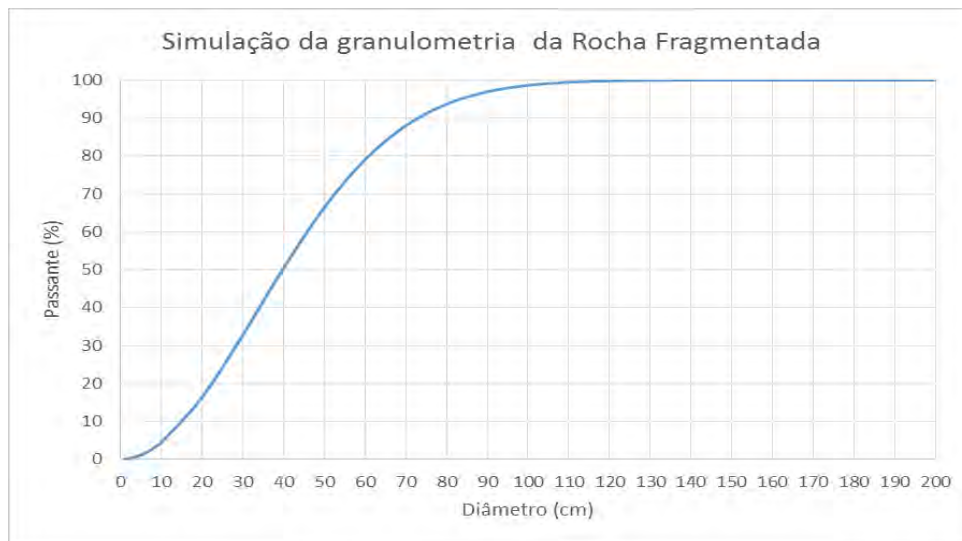


Figura 2 – Curva granulométrica da simulação do desmonte de rocha

4.3 Análise da Fragmentação através de Tratamento De Imagem

Para a análise da fragmentação do desmonte da Pedreira Herval, foi utilizado o programa Split-Desktop® Version 3.1 e fotos da pilha desmontada adquiridas na etapa de campo. O programa Split-Desktop é um recurso usado no processamento de imagens para calcular a distribuição do tamanho de fragmentos de rocha através da análise digital de imagens em tons de cinza. As imagens digitais podem ser adquiridas com uso de câmera digital. A figura 3 apresenta a curva granulométrica obtida através da análise do desmonte de rochas por tratamento de imagem.

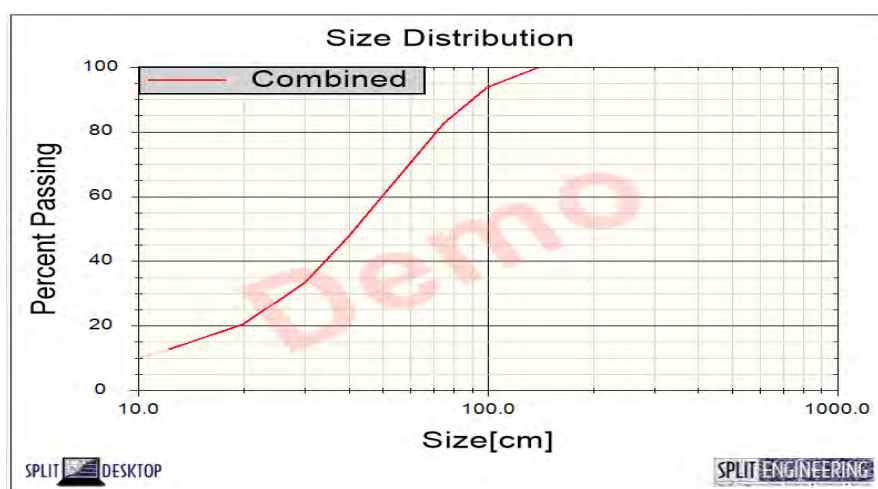


Figura 3 – Gráfico da análise granulométrica do Desmonte de Rochas por tratamento de imagem

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico serão comparadas as fragmentações obtidas através da simulação do modelo de Kuz-Ram e através do tratamento de imagem pelo software Split-Desktop. Para comparação entre as curvas granulométricas das simulações e resultados do tratamento de imagem foram analisados três pontos básicos das curvas:

- P_{50} - O diâmetro do tamanho por onde passam 50% (cinquenta por cento das partículas)
- P_{80} - O diâmetro do tamanho por onde passam 80% (oitenta por cento das partículas)
- P_{100} - O diâmetro máximo por onde passam 100% (cem por cento das partículas)

A avaliação dessas curvas mostrou que o modelo Kuz-Ram apresenta um maior percentual de finos. Já na fração acima de 10 cm, a análise por tratamento de imagem e o modelo de Kuz-Ram se equivalem. Isto pode ser comprovado plotando as duas curvas numa mesma tela de simulação, como mostra a Figura 4.

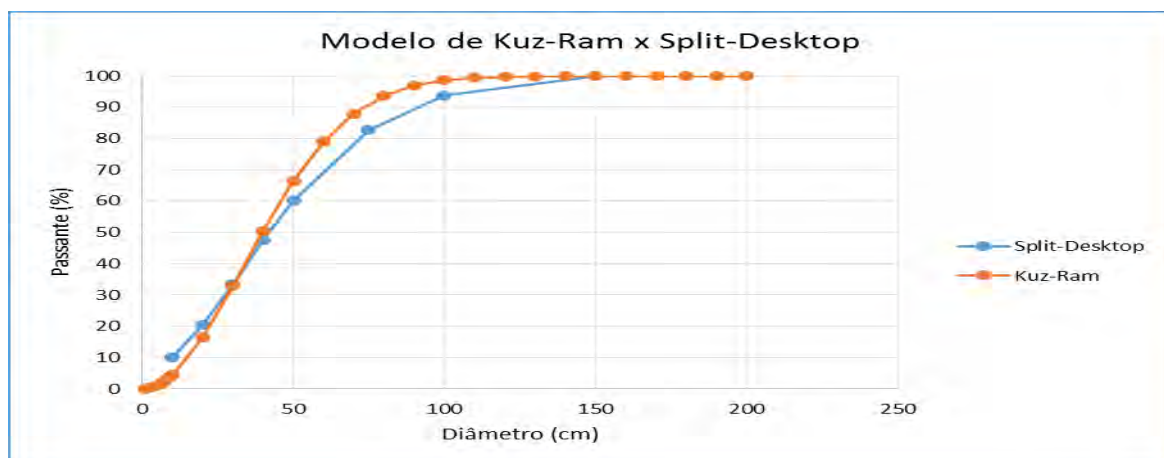


Figura 4 – Gráfico do Modelo de Kuz-Ram x O Software Split-Desktop para o Desmonte de Rochas

Com relação ao P_{80} , podemos notar que há pequena uma diferença. Esse parâmetro obteve o valor de aproximadamente 60,00 centímetros para a simulação e o valor de aproximadamente 72,50 centímetros para a análise granulométrica por imagem. A discrepância em relação ao valor por análise de imagem é de aproximadamente 17,24 %.

Em relação ao P_{50} , temos uma pequena discrepância da curva simulada em relação a obtida por imagem de aproximadamente 5,67%(cinco virgula sessenta e sete por cento), tendo o diâmetro de 42,15 centímetros para análise por imagem e 39,76 centímetros para a simulação através de Kuz-Ram.

Pode-se notar que a inclinação nas curvas parece ser a mesma, visto que se trata do mesmo plano de fogo. Outra característica comum entre as duas curvas é que as mesmas se encontram em várias faixas de tamanhos. Mas uma última característica observável da curva da figura 4 é que ela não mostra resultados para tamanhos menores que 10 centímetros, diferentemente da curva simulada que prevê tamanhos na faixa de 1 a 10 centímetros.

6. CONCLUSÕES

A função do desmonte de rochas é fazer fragmentos como o tamanho adequado para a britagem, transporte e todas as etapas subsequentes, por essa razão a modelagem matemática para simulação de desmonte de rochas é de suma importância para o planejamento de custos operacionais, satisfatória eficiência e eficácia em operações mineiras e processamentos unitários.

Após a realização da análise granulométrica por meio de processamento digital de imagem com o Programa Split-Desktop, observou-se que as características do maciço rochoso são de fato determinantes para o melhor desempenho da operação de desmonte. Um estudo mais detalhado do maciço além de reduzir custos com transporte, carregamento e britagem, diminuiria o tempo de ciclo, otimizando estas operações e aumentando a produção.

A análise por tratamento de imagem teve fundamental participação para avaliar a relação entre o desmonte realizado e modelamento matemático do maciço rochoso, pois foi possível comparar o resultado com a distribuição granulométrica gerada pela simulação através do modelo de Kuz-Ram, com o resultado prático do desmonte realizado.

É fato que como pode ser observado na simulação para otimização do desmonte da Pedreira Herval, que o aumento da malha de perfuração contribui para um desmonte com granulometria mais grossa, apesar de reduzir a quantidade de explosivo na bancada (razão de carregamento). Outros inconvenientes operacionais provenientes de um desmonte com granulometria mais grossa podem ser gerados, tais como aumento de desgaste de equipamentos de britagem e carregamento, maior tempo de manutenção, e maior consumo de combustível.

Podemos dizer que o modelo de fragmentação de Kuz-Ram assistida por simulação, mostra eficiência em prever a fragmentação de rochas com o uso de explosivos. Por outro lado o modelo apresenta limitações, tais como:

- Superestimação da quantidade de finos;
- O Modelo também não prevê o resultado da granulometria da fragmentação da rocha para diferentes tipos de malha;
- O modelo de Kuz-Ram não leva isso em consideração as descontinuidades do maciço rochoso;
- Não há previsão ou modelagem para o modo da sequência de iniciação, a carga máxima por espera e nem a influência do uso de diferentes tempos de retardo, tanto para desmonte controlado com espoleta eletrônica como para não elétricos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIENIAWSKI, Z. T. (1989). Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. Interscience, John Wiley & Sons, New York, 272 pp.

CUNNINGHAN, C. V. B. Fragmentation estimations and the Kuz-Ram model - four years on. In Proceedings 2nd Int. Symp on Rock Fragmentation by Blasting, Lulea, 1987. p. 475-487. In: Hustrulid, W. Blasting Principles for Open Pit Mining. v. 1. Rotterdam: Balkema, 1999. 301p.

DJORDJEVIC, N. A two-component model of blast fragmentation. In: The AusIMM Proceedings, Austrália: Brisbane, 1999, p. 9-13.

HUDSON J. A. & Cosgrove J. W. (1997). Integrated structural geology and engineering rock mechanics approach to site characterization. Int. J. Rock Mech. & Min. Sci., 34 (3/4): p136.1-p136.15.

KUZNETSOV, V. M. The mean diameter of the fragments formed by blasting rock. Soviet Mining Science, 1973. p. 144-148.

LILLY, P. A. An empirical method of assessing rock massing blastability. LARGE OPEN PIT MINING CONFERENCE. THE AusIMM/IE AUST NEWMAN COMBINED GROUP, Austrália: 1986. p. 89-92.

ROCHA M. (1981). Mecânica das rochas. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa. 445 pp.

SARMA, R. S. Models for assessing the blasting performance of explosives. The University of Queensland, Austrália, 1994. (PhD Thesis).

VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DE CORREIAS TRANSPORTADORAS NA MINERAÇÃO DE GIPSITA EM ARARIPINA

Romero César Afonso de Melo Filho¹, Júlio César de Souza², Ricardo Alves da Silva³, Hermerson Carneiro Rodrigues⁴, Suelen Silva Rocha⁵, Flávia de Freitas Bastos⁶

¹ Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral-Universidade Federal de Pernambuco

² Professor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral-Universidade Federal de Pernambuco

³ Doutorando em Ciência da Computação, Centro de Informática, Universidade Federal de Pernambuco

⁴ Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral-Universidade Federal de Pernambuco

⁵ Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral-Universidade Federal de Pernambuco

⁶ Engenheira de Minas, Mestre em Engenharia Mineral, responsável técnica Mineração Royal Gypso Ltda
Romero.afonso@hotmail.com

RESUMO

Este trabalho vem apresentar por meio de um estudo de caso na Mineração Royal Gypso Ltda uma alternativa ao sistema de transporte do estéril da cobertura da jazida utilizado atualmente na empresa, através do sistema caminhão/escavadeira. Foi estudada a alternativa de utilizar um sistema de transporte contínuo buscando um aumento na eficiência operacional. Estudou-se a instalação do sistema de transporte por correias como substitutivo ao transporte convencional (por caminhões) e como critério de comparação foi utilizado o CAUE (Custo Anual Uniforme Equivalente). O estudo demonstra que esta mudança de fato aumenta a eficiência operacional, minimizando a utilização de recursos e gerando um custo unitário menor. Ao reduzir os custos, a empresa se torna mais competitiva no mercado aumentando sua rentabilidade, a possibilidade de ampliação do negócio, geração de novos postos de trabalho e redistribuição de renda. Esta modificação também proporciona uma redução das emissões de carbono dentro da empresa tornando-a ainda mais amigável ao meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: mineração, sustentabilidade, gipsita, viabilidade econômica, CAUE.

ABSTRACT

This paper presents a case study of an alternative to the waste transport system currently used in the Royal Gypso mining company through the truck / excavator system. An alternative based on the use of a continuous transport system seeking an increase in operational efficiency was studied. The installation of the transport system by belt conveyor was analyzed as a substitute to conventional transport (trucks) and as comparison criteria CAUE (Uniform Annual Cost Equivalent) was used.

The study shows that this change actually increases operational efficiency, minimizing the use of resources and generating a lower unit cost. By reducing costs, the company becomes more competitive increasing profitability, allowing the business expansion, generating new jobs and promoting social equality. This modification also reduces company carbon footprint making it more environmental friendly.

KEYWORDS: mining, sustainability, gypsum, economic viability, CAUE.

1. INTRODUÇÃO

A gipsita é um bem mineral vastamente utilizado na construção civil. Suas aplicações podem ser como aditivo para controle do tempo de pega do cimento Portland, paredes, divisórias, revestimentos entre outras. Suas propriedades auxiliam a conferir características interessantes como isolamento acústico e térmico aos pré-fabricados como drywall.

O sumário mineral de 2014, publicado pelo Departamento Nacional de Produção Mineral, confere ao estado de Pernambuco, mais especificamente ao Polo Gesseiro do Araripe, a responsabilidade por 87,6% de toda a produção de gipsita nacional. Este polo produtor está localizado no sertão pernambucano, região de clima semiárido que sofre frequentemente com longas estiadas dificultando bastante o desenvolvimento de outras atividades industriais e agrícolas. A produção de gipsita no Polo Gesseiro do Araripe é portanto fundamental para garantir o crescimento e desenvolvimento da região e em meio a um mercado cada vez mais competitivo, é mister o estudo constante de alternativas para agregar valor e reduzir o custo de produção desse bem mineral.

Este artigo se insere no segundo caso e apresenta um estudo de viabilidade econômica da implementação de uma alternativa ao transporte convencional por caminhões feito na Mineração Royal Gypso Ltda.

1.1 O Polo Gesseiro do Araripe

A região do Araripe, localizada no extremo oeste de Pernambuco, é composta pelos municípios de Araripina, Bodocó, Cedro, Dormentes, Exu, Granito, Ipubi, Moreilândia, Ouricuri, Parnamirim, Santa Cruz, Santa Filomena, Serrita, Terra Nova e Trindade, que juntos correspondem a 18% da área total de estado de Pernambuco.

Nessa região que está localizado o Polo Gesseiro de Pernambuco abrangendo os municípios de Araripina, Ipubi, Trindade, Bodocó e Ouricuri.

O Brasil destaca-se mundialmente em reservas de gipsita e ocupa a 4ª posição no ranking de produtores com cerca de 8,3 milhões de toneladas produzidas em 2012. Pernambuco concentra 18% das reservas nacionais de gipsita. Dentre estas, as reservas da região do Araripe são consideradas as melhores reservas do mundo com a pureza do minério variando entre 88% e 98%. (DNPM, 2012)

Dados divulgados pelo Sindicato da Indústria do Gesso do Estado de Pernambuco afirmam que são gerados cerca de 13,8 mil empregos diretos e 68 mil indiretos nas 39 minas de gipsita ativas, 162 fábricas de gesso calcinado e 726 unidades fabris de pré-moldados que geram um faturamento anual na ordem de R\$ 1,4 bilhões. (SINDUSGESSO, 2016)

2. A lavra da gipsita

De forma geral, a lavra da gipsita segue a seguinte sequência de operações (Souza, 2002):

- Descobertura/Limpeza do terreno;
- Perfuração;
- Carregamento;
- Desmonte com explosivos;
- Transporte;

Boa parte das minas de gipsita da região estudada utilizam o método *Crater Mining* para a realização da lavra. Uma das razões disso acontecer é o fator histórico. É natural que os mais antigos produtores, frequentemente sem a formação técnica e o conhecimento geológico desejado, iniciem o processo de lavra com base no conhecimento empírico adquirido em outros empreendimentos fazendo apenas uma reprodução do que foi visto. A lavra em *Crater Mining* é um dos métodos mais difundidos e com maior bibliografia disponível sendo este portanto a primeira opção quando, no empreendimento, não há um sólido conhecimento tanto do corpo a ser lavrado quanto das possibilidades em relação aos métodos de lavra.

Estudos realizados pelo Laboratório de Planejamento de Lavra (LAPLA) da Universidade Federal de Pernambuco (Silva, 2013 e Bastos, 2013) demonstram que é possível alcançar avanços na eficiência operacional quando utilizado o método do *Terrace Mining* em detrimento do *Crater Mining* para o caso em estudo. O *Terrace Mining* é uma var-iante da Lavra em Tiras e pode ser aplicado, de forma geral, quando o corpo mineral se dispõe em camadas horizontais ou sub-horizontais.

3. A Mineração Royal Gypso Ltda

Consoante com histórico da região, a Mineração Royal Gypso fazia uso do *Crater Mining* para sistematizar sua lavra. Uma das características deste método é a necessidade de um local para deposição de estéril e, por uma questão de custo com transporte, é importante que este local não esteja longe das frentes de lavra. Por não haver nenhuma área disponível próxima a cava para a construção de uma nova pilha de estéril, haviam as possibilidades de locar esta distante da cava (mais de 4 quilômetros) ou modificar o método de lavra para o *Terrace Mining*.

Neste contexto foi verificado que o custo para aquisição da área e o custo operacional para remoção da cobertura, dando continuidade ao método antigo, é muito superior ao custo de mudança do método de lavra para o *Terrace Mining*. É então no contexto de sustentabilidade operacional que este estudo se baseia buscando reduzir o investimento na remoção da cobertura e possibilitar a extração do bem mineral com um custo que permita a viabilidade econômica da lavra.

3.1 Produtividade

Foram utilizadas as necessidades de produção da empresa para definir a velocidade de remoção da cobertura estéril.

A Mineração Royal Gypso informou necessitar 900 m² de área superficial livre por mês para trabalhar suas bancadas garantindo o suprimento de suas necessidades quanto a capacidade produtiva e rendimento. Foi estimada então a liberação de uma área um pouco superior, 937,5 m²/mês, para garantir a produção com uma margem de liberdade. Desta forma se obtém uma massa movida de 30.000,00 ton/mês de argila.

4. O transporte por caminhões

A empresa terceirizada cobra R\$0,856/(Km.Ton). Neste valor estão incluídos todos os custos de transporte: combustível, manutenção, funcionários, encargos, etc...

O caminhão utilizado é o Volkswagen Constellation com caçamba de capacidade nominal 16 m³. O trajeto a ser realizado pelo caminhão entre o antigo e o novo depósito de estéril é de 1.100 m. Cada caminhão pode transportar, em média, considerando um fator de enchimento de 0,9 (para argila), 14,4 m³ por ciclo.

Isto implica em um custo de transporte mensal de R\$18.919,27 totalizando R\$227.031,25 anuais.

5. Transporte por Correia Transportadora

Para definição dos parâmetros da correia transportadora foi utilizada uma planilha de cálculo de correia transportadora da fabricante FAÇO. Os dados necessários para a definição da esteira seguem abaixo.

- Produtividade Demandada 142,05 m³/h
- Densidade da argila 1,60 ton/m³
- Ângulo de Repouso da Argila 25°
- Comprimento da correia fixa 455,00 m
- Comprimento da correia móvel 60,00 m

Para se adequar as características do projeto a esteira escolhida necessita possuir as seguintes características:

- Largura da Correia 30"
- Velocidade da Correia 0,80 m/s
- Potencia Instalada 90,00 CV

Uma vez determinados os parâmetros dos sistemas de transporte contínuo por esteira, foi feita uma estimativa do custo de implementação e operação do novo equipamento. Para as características deste transportador, o custo médio de um equipamento novo, instalado e com todos os acessórios (motor, roletes, estrutura metálica, etc...) é de R\$ 800,00/metro para o transportador fixo enquanto o móvel tem um valor médio de R\$ 1.200,00/metro.

Tomando em consideração estes valores, o custo total de implementação do projeto será:

$$\text{Investimento inicial} = 455 \text{ m} \times \text{R\$ } 800/\text{m} + 60 \text{ m} \times \text{R\$ } 1.200/\text{m} = \text{R\$ } 436.000,00.$$

5.1 Custo de Capital do projeto

Custo de capital anual do investimento da correia transportadora:

- $\text{Custo Anual} = (\text{investimento} - \text{valor residual})/8\text{anos}$
- $\text{Custo anual} = (436.000 - 43.600) / 8 = 49.050,00 \text{ \$/ano}$

5.2 Custo Operacional do projeto

O custo operacional está composto de manutenção e operação.

Manutenção: O custo de manutenção está estimado em 5% do valor do equipamento por ano incluindo-se neste valor lubrificação, substituição de pequenas peças como roletes e reparos nas estruturas.

O valor estimado é de R\$ 21.800,00 por ano.

Operação: Neste fator estão incluídos 3 funcionários (operador, auxiliar e manutenção), energia elétrica e os custos de EPI's e outros acessórios necessários a operação do equipamento.

O valor estimado é de R\$ 108.319,88 anuais.

Custo anual: O custo operacional anual refere-se as despesas com salários, manutenção e energia necessários para operação da correias transportadora e é apresentado a seguir:

Custo operacional anual: 135.055,15 R\$/ano

5.3 Custo anual total do projeto

O custo anual total é definido pela soma do custo de capital mais o custo operacional anual e é calculado abaixo.

Custo de capital anual:	49.050,00 \\$/ano
Custo operacional anual:	135.055,15 \\$/ano
Custo anual do projeto:	184.105,15 \\$/ano

6. Custo Anual Uniforme Equivalente e Valor Presente Líquido

Para se realizar a comparação entre os custos obtidos para o transporte tanto por caminhões quanto por esteira foi feito uso do Custo Anual Uniforme Equivalente (CAUE). Os dados são apresentados nas tabelas 2 e 3 onde se utilizou uma taxa mínima de atratividade (TMA) no valor de 18% a.a.

Tabela 1 CAUE e VPL para Correia Transportadora

Investimento	-R\$ 436.000,00	Ano	Valor
VPL para tma = 18%	-R\$ 750.700,84	Ano 1	-R\$ 184.105,15
TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE(%)	18	Ano 2	-R\$ 184.105,15
		Ano 3	-R\$ 184.105,15
		Ano 4	-R\$ 184.105,15
		Ano 5	-R\$ 184.105,15
		Ano 6	-R\$ 184.105,15
		Ano 7	-R\$ 184.105,15
		Ano 8	-R\$ 184.105,15

Tabela 2 CAUE e VPL para Caminhões

Investimento	R\$ ---	Ano	Valor
VPL Para tma = 18%	-R\$ 925.734,85	Ano 1	-R\$ 227.031,25
TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE(%)	18	Ano 2	-R\$ 227.031,25
		Ano 3	-R\$ 227.031,25
		Ano 4	-R\$ 227.031,25
		Ano 5	-R\$ 227.031,25
		Ano 6	-R\$ 227.031,25
		Ano 7	-R\$ 227.031,25
		Ano 8	-R\$ 227.031,25

7. Conclusões

Com base nos resultados obtidos, é notável a diferença de custo entre o sistema que está em uso atualmente na empresa e a proposta apresentada por esse trabalho.

A metodologia de transporte por caminhões gera um custo elevado, porém este valor é pago de acordo com a produção além de não demandar investimento. O método de transporte contínuo através de esteiras por outro lado possui um custo anual inferior, porém o custo de implementação é alto uma vez que a utilização desta metodologia passa obrigatoriamente pela aquisição de todo o equipamento.

Os valores VPL's obtidos e atualizados com uma TMA de 18% a.a. foram os seguintes:

CORREIA TRANSPORTADORA: R\$ -750.700,84

CAMINHÕES: R\$ -950.734,85

Com base nestes dados e levando em conta o prazo estabelecido de 8 anos, a alternativa da correia transportadora se apresenta como a melhor solução para o empreendimento a longo prazo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SILVA, R. A. **Estudo Comparativo de duas Alternativas de decapeamento para Lavra de Gipsita na Região do Araripe - PE**. Dissertação (Mestrado). Recife: Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral, 2013. 142 p.

DNPM. **Sumário Mineral**. Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral, 2014. ISSN 0101-2053. 152 p.

BASTOS, F. F. **Aplicação da Terrace Mining como Alternativa para Lavra de Gipsita na Região do Araripe - PE**. Dissertação (Mestrado). Recife: Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral, 2013. 113 p.

SINDUGESSO. <http://www.sindusgesso.org.br/produtos-de-gesso-terao-novas-normas>. Acessado em 05 de fevereiro de 2016.

AVALIAÇÃO DE BLINDAGEM COM CORRENTES EM CAMINHÕES FORA DE ESTRADA CAT 777F/G DA MINA DE BAUXITA DA MINERAÇÃO PARAGOMINAS S.A.

Suelen Silva Rocha¹, Edil Pimentel², Vivianne de Cássia P. Andrade³

^{1,3}Pós-graduanda em Engenharia Mineral (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco – Departamento de Engenharia de Minas

²Engenheiro de Minas – Hydro Paragominas (Norsk Hydro); Rua Estrada da Mineração - KM 30 a partir da BR 010, s/n, 68625 200 – Paragominas - PA
eng.suelen.rocha@hotmail.com

RESUMO

Na Mineração Paragominas S.A. (MPSA), a camada de estéril que recobre a camada de bauxita chega a atingir mais de 13 metros de altura, e o decapeamento é realizado de três maneiras de acordo com essa altura, utilizando equipamentos como tratores de esteira, escavadeiras hidráulicas e caminhões fora de estrada. Estes são responsáveis por 15% da movimentação de estéril da MPSA, porém tem sua operacionalidade impactada devido aos altos índices de precipitação pluviométrica no período de dezembro a maio na região, aliados às características argilosas do material dos acessos da Mina. Diante dessa problemática, foram implantadas blindagens com correntes nos pneus traseiros externos dos caminhões fora de estrada CAT 777 da MPSA, conferindo aos mesmos maiores índices de utilização física em comparação aos caminhões onde não foram instaladas correntes.

PALAVRAS-CHAVE: bauxita, caminhão fora-de-estrada, correntes.

ABSTRACT

At Mineração Paragominas S.A. (MPSA), a layer of sterile soil overlying the bauxite reaches over 13 meters tall and stripping is done in three ways according to its height, using equipment such as bulldozers, hydraulic excavators and off-road dump trucks. They are responsible for 15% of the sterile cap removal at MPSA, but their operation has been impacted due to high levels of

precipitation in the period of December through May in the region, combined with the argillaceous characteristics of the material present in accessing the Mine. Faced with this problem, shielding metal chains were placed on the external rear tires of the dump trucks CAT 777 MPSA, giving them higher rates of physical usage compared to trucks which had not had chains installed.

KEYWORDS: bauxite, off-road truck, chains.

1. INTRODUÇÃO

A bauxita é a principal fonte mundial de alumina, porém existem diferenças significativas entre os diversos jazimentos caracterizando essa rocha para usos específicos, dependendo da sua composição mineralógica e das impurezas associadas. Algumas bauxitas têm composição que se aproximam à da gibbsita, todavia em sua maioria formam uma mistura, contendo impurezas como sílica, óxido de ferro, titânio e outros elementos. Como resultado, a bauxita não é considerada uma espécie mineral e, em uma classificação rígida, o nome bauxita deve ser usado em alusão à rocha (bauxito). Os principais constituintes dessa rocha são: a gibbsita, a boehmita e o diásporo. Cerca de 95% de toda a bauxita lavrada no mundo é usada para produção de alumina pelo processo Bayer, dos quais 90% é extraído o alumínio. O restante (10%) destina-se a outros fins, como refratários, abrasivos, cimentos argilosos, indústria química etc. (SAMPAIO e NEVES, 2012).

A empresa Mineração Paragominas S.A. (MPSA), da empresa norueguesa Norsk Hydro, localiza-se no município de Paragominas, que dista 360 Km da capital Belém, no estado do Pará. As operações de lavra e processamento da bauxita concentram-se no Platô Miltônia 3, e o concentrado de bauxita é transportado por um mineroduto de 244 Km de extensão até a Refinaria Hydro Alunorte, que está localizada no município de Barcarena (PEREIRA, 2012):

A lavra de bauxita da Mineração Paragominas S.A. envolve operações complexas, já que se trata de uma jazida diferenciada por ser composta de elevadas camadas de material estéril, as quais variam de 2 a 20 metros de altura. A espessura média do capeamento é de 14 m e a camada de minério lavrável possui 1,65 m de espessura média.

As quatro camadas que recobrem a camada de minério são: a camada CAP (Capeamento Argiloso) é a camada superficial argilo-arenosa de coloração amarelada (argilas de Belterra) com média de 11 metros de espessura; a camada BN (Bauxita Nodular Pisolítica e/ou Concrecionária), onde a bauxita apresenta-se em forma de nódulos de coloração amarelo-avermelhada, com

pequenos cristais de gibbsita micro a criptocristalizados; a camada BNC (Bauxita Nodular Cristalizada) também apresenta a bauxita na forma nodular, de coloração avermelhada, porém com cristais de gibbsita visíveis a olho nu; e a camada LF (Laterita Ferruginosa), que possui resistência elevada por ser rica em óxido de ferro, sendo então utilizada como forro dos acessos e vias da mina (PIMENTEL, 2012).

A relação estéril/minério na mina de bauxita MPSA é da ordem de 5,5m³ de estéril/t de minério. Esta característica influencia direta e significativamente na operação de decapeamento, que consiste na remoção do material estéril que recobre a camada de minério, o que torna necessária a criação de estratégias na execução dessa operação. Assim, dependendo da altura da camada de estéril, o decapeamento pode ser realizado utilizando apenas tratores de esteira D11 (decapeamento direto); utilizando tratores de esteira mais escavadeira hidráulica (pré-corte e tombamento, respectivamente); e utilizando o sistema caminhão fora de estrada mais escavadeira hidráulica para o rebaixo, operação com trator (pré-corte) mais escavadeira hidráulica (tombamento) (FERREIRA, 2012).

Os caminhões fora de estrada são responsáveis por cerca de 15% de toda a movimentação de estéril da MPSA, garantindo melhores índices de rendimento operacional, além de continuidade e sincronismo do processo de decapeamento (PIMENTEL, 2013). São caminhões basculantes dimensionados para serviços pesados de construção, sendo de grande tonelagem e de dimensões que fogem ao normal, o que impede o seu uso em estradas de tráfego normal, e caracterizam-se por serem mais robustos, tendo mais aderência e resistência para operar em condições desfavoráveis e terrenos de difícil acesso (RICARDO e CATALANI, 2007).

Porém, na região da MPSA, os índices históricos de precipitação pluviométrica no período de dezembro a maio são bastante elevados, o que impacta direta e significativamente o sistema de lavra e demais atividades da mina, inclusive a operação dos caminhões fora de estrada. O gráfico da figura 1 mostra a média dos índices pluviométricos dos anos de 2008 a 2013 (PIMENTEL e MAGALHÃES, 2013).

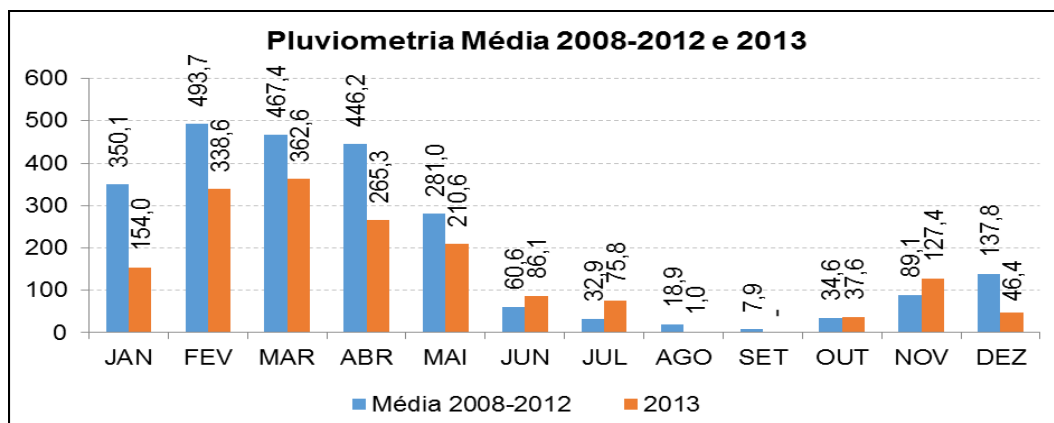


Figura 1: Média dos índices pluviométricos de 2008 até 2012 da MPSA
Fonte: Pimentel e Magalhães (2013)

Além dos elevados índices pluviométricos, há ainda outro fator que afeta a operacionalidade desses caminhões: as características argilosas do material de formação das pistas e acessos por onde trafegam esses caminhões, pois devido à saturação do material, há baixa aderência entre a banda de rodagem dos pneus e o terreno e, conseqüentemente, ocorre o surgimento de borrachudos e barreiras, que aliados ao elevado afundamento, aumentam o coeficiente de resistência do rolamento, fazendo-se chegar ao ponto de impossibilidade operacional dos caminhões (PIMENTEL e MAGALHÃES, 2013).

A operacionalidade dos caminhões fora de estrada é significativamente afetada, e o impacto resultante é a diminuição da utilização física global (UT), que é um índice relacionado às perdas por paradas em que o equipamento está disponível, mas não está sendo utilizado (horas improdutivoas internas e externas). No caso em questão, a UT dos caminhões é bastante reduzida pelo fato de os mesmos não conseguirem operar ou despenderem muito tempo para realizar seu tempo de ciclo. Na imagem a seguir, o gráfico mostra a UT dos CAT 777 para os anos de 2011 e 2012 da MPSA:

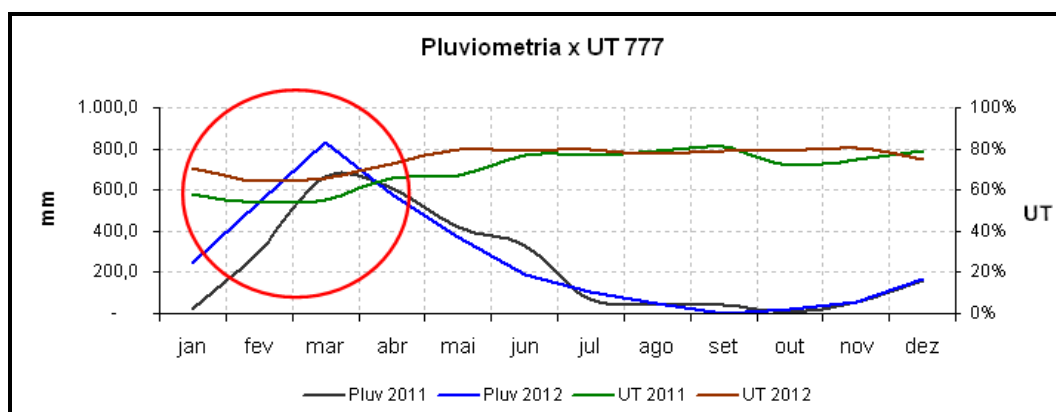


Figura 2 – Pluviometria x UT CAT 777F/G

Como pode-se observar, no período entre janeiro e abril, a incidência pluviométrica é mais intensa, impactando direta e significativamente a utilização física dos caminhões. Diante dessa problemática, foi realizada uma avaliação da implantação de uma técnica conhecida por blindagem, que consiste em um revestimento de proteção com a utilização de uma malha densa e flexível de aço constituída por elementos forjados e anéis soldados de união (correntes), nos pneus traseiros externos dos caminhões fora de estrada CAT 777 da Mineração Paragominas S.A., com o objetivo de aumentar as condições de aderência e, conseqüentemente, a trafegabilidade desses equipamentos, possibilitando sua operação de forma mais contínua nos períodos de elevada pluviometria. Aliado à aplicação das blindagens, foram realizadas ações relacionadas à infraestrutura de rampas e praças de carregamento e basculamento visando reduzir as horas de parada desses caminhões, aumentando o tempo de tráfego durante os momentos chuvosos e retomando de forma mais acelerada suas operações após paradas em função destes momentos.

2. METODOLOGIA

A metodologia consistiu basicamente na instalação das blindagens nos pneus traseiros externos dos caminhões fora de estrada CAT 777F. As blindagens foram instaladas em três caminhões no ano de 2014, possibilitando a coleta e comparação dos índices operacionais de UT no período chuvoso de todos os caminhões CAT 777 da frota e avaliação do tempo de ciclo e condições de trafegabilidade em pistas escorregadias de caminhões com e sem blindagem. Um dos caminhões ainda permaneceu sem blindagens, e teve sua operacionalidade avaliada em relação aos demais.

O processo de instalação das blindagens é relativamente simples e pode ser feito tanto por um técnico do fornecedor das blindagens (RUD), quanto por funcionários da MPSA.

A avaliação da operação possibilitou avaliar o tráfego dos caminhões fora de estrada com e sem correntes, avaliando a quantidade de horas paradas, subindo carregado, descendo vazio, e manobrando nas áreas de carga e descarga. As correntes foram instaladas em 03 dos caminhões desde o mês de janeiro: CAT 777F 6501, CAT 777F 6502 e CAT 777F 6503. Avaliou-se o percentual de horas paradas por mau tempo e, conseqüentemente, a Utilização Física (UT), no período de janeiro a 13 de abril de 2014, e as blindagens permaneceram nos caminhões.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a avaliação, não se observou diferença de performance nas viagens realizadas pelos caminhões com e sem correntes nas vias secas: os mesmos obtiveram o mesmo tempo de ciclo e índice de UT. Porém, nas vias úmidas, o caminhão sem kit de blindagem apresentou, em 03 eventos, enorme dificuldade para subir a rampa, e nas outras 07 nem conseguiu subir devido à falta de aderência entre o trem propulsor e o terreno. Isso pode ser visto na figura 3, onde se observa que o solo argiloso e úmido preenche os sulcos da banda de rodagem, diminuindo a aderência e ocasionando o patinamento.



Figura 3 – Ausência de aderência entre o pneu e o solo

O solo argiloso provoca não só o patinamento, mas também um elevado grau de afundamento e geração de borrachudos, criando assim mais forças contrárias ao movimento do caminhão até chegar ao ponto de impossibilitar sua operação, pois para cada centímetro afundado, é necessária uma força de 0,6% do peso do equipamento para vencer a resistência, sem mencionar a resistência natural à rampa. Assim, considerando que a força de deslocamento supere as demais resistências, pode-se dizer que há movimento. Entretanto, no que se refere ao atrito ou aderência (F_a), deve-se considerar a existência de um valor mínimo, com sentido oposto ao do deslocamento e tangencial à periferia do pneu e que seja sempre superior ao esforço trator, ou seja, a partir do momento que:

$$F_a = f.P_m \quad (1)$$

sendo f o coeficiente de aderência entre o pneumático e o solo e P_m o peso sobre a roda motriz, está estabelecida a condição do patinamento. Dessa forma, sempre que o esforço trator não supera a força de aderência, não há patinamento e o pneu rola sobre a superfície (RICARDO e CATALANI, 2007).

Já os caminhões com as blindagens conseguiram realizar seus movimentos, pois houve um aumento na força de aderência e conservação do esforço trator (figura 4):



Figura 4 – Pneu com blindagem – maior aderência com área de contato

Apesar de se ter maiores condições de atrito, observou-se que, em situações de fortes chuvas e elevado grau de saturação do terreno, até mesmo os equipamentos com as correntes patinaram e, conseqüentemente, tiveram a operação paralisada. No entanto, o tempo de retomada dos mesmos às atividades foi menor que o que estava sem corrente.

A partir da coleta de dados no período de janeiro a 13 de abril de 2014, obteve-se o percentual de horas paradas dos caminhões com corrente bem como do caminhão sem blindagem, como pode ser visto no gráfico da figura 5:

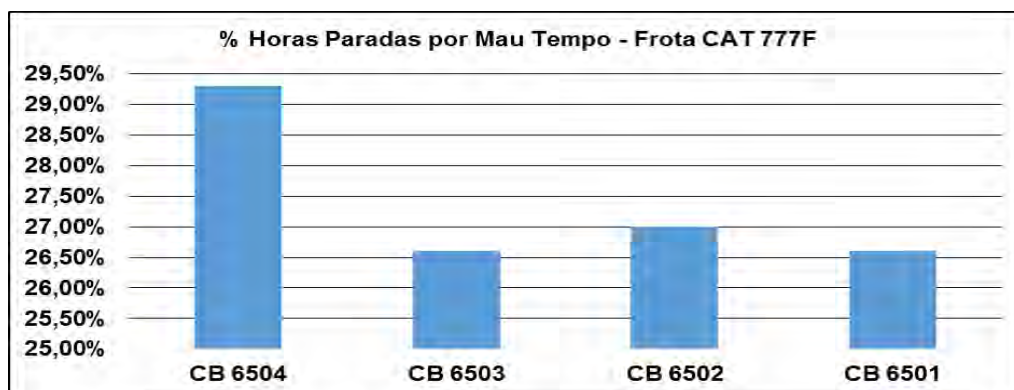


Figura 5 – Percentual de horas paradas por mau tempo da frota CAT 777F

O caminhão 6504 era o único que estava sem as correntes. Com isso, seus tempos de retomada após a chuva e de parada durante a chuva são maiores que dos outros caminhões, impactando assim, sua UT. Pode-se perceber que os caminhões com as blindagens tiveram uma performance em termos de UT 3,5% maior que o sem blindagem.

O tempo ciclo do caminhão sem correntes é zero, pois ele não roda. Já os com correntes conseguem trafegar normalmente, como se as vias estivessem secas. No entanto, em

determinado momento, quando está muito encharcado, é necessário parar a operação da frota, pois a operacionalidade dos caminhões fica comprometida.

Foi possível observar também que não houve desgastes acentuados nos pneus, já que o material das vias de acesso (argila) não é abrasivo, e as correntes são utilizadas apenas nos períodos chuvosos. A vida útil dos pneus da MPSA é de mais ou menos 15.000 horas, e não houve redução significativa dessa vida útil.

4. CONCLUSÃO

Na Mineração Paragominas S.A., os caminhões fora-de-estrada desempenham papel fundamental na operação de decapeamento, porém tem sua UT comprometida pela pluviometria e condições das vias de acesso locais.

Assim, a aplicação de blindagens com correntes nos pneus traseiros externos desses caminhões é imprescindível, pois garantem a operacionalidade dos mesmos, no sentido de que as correntes aumentam a aderência, fazendo com que haja maiores condições de tração e transmitindo a força necessária ao deslocamento.

A avaliação realizada permitiu constatar que o uso das correntes incrementaram a UT da frota CAT 777F em uma média de 3,5%, reduzindo as horas paradas por mau tempo em relação ao caminhão sem blindagem, os quais ficavam impossibilitados de operar. Dessa forma, está se garantindo ou aumentando a frequência de operação desses equipamentos nos períodos chuvosos, permitindo a certeza da continuidade das metodologias de decapeamento e, conseqüentemente, obtenção de melhores índices de movimentação de material estéril.

Além disso, os caminhões equipados com as correntes não apresentaram nenhum deslizamento ou patinamento lateral durante curvas e manobras, favorecendo assim, a segurança e integridade da operação. Também não foi necessária a realização de qualquer tipo de manutenção relevante nas blindagens, somente ajustes de tensionamento feitos pela própria empresa.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FERREIRA, L. F. M. **Avaliação de Três Cenários Operacionais no Decapeamento da Lavra de Bauxita de Paragominas – PA.** Marabá – PA: Universidade Federal do Pará, 2012. 61 p. (Trabalho de Conclusão de Curso)

Mineração Paragominas S.A. **Registros Fotográficos.** 2013.

PEREIRA, F. T. **Aumento de Produtividade da Frota de Caminhões Rodoviários com a Padronização de Cargas – Mineração Paragominas S.A.** Belo Horizonte: VII Congresso Brasileiro de Mina a Céu Aberto e Subterrânea (CBMINA), 2012. 02 p.

PIMENTEL, E. **Mina de Bauxita Paragominas.** Marabá – PA: VIII Semana da Geologia – UFPA, 2012. 07 p – 10 p.

PIMENTEL, E.; MAGALHÃES, H. **Relatório Interno: Aplicação de Blindagem em Caminhões Fora de Estrada CAT 777F/G.** Paragominas: MPSA, 2013. 03 p - 08 p.

RICARDO, H. S.; CATALANI, G. **Manual Prático de Escavação: Terraplanagem e Escavação de Rocha.** São Paulo: Editora Pini, 2007. 91 p.

SAMPAIO, J. A.; NEVES, C. H. B. Bauxita – MSL Minerais S.A. *In: Usina de Beneficiamento de Minérios do Brasil.* Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2012. 9 p.

ASPECTOS MINERALÓGICOS DOS DIAMANTES DE ANDARAÍ, CHAPADA DIAMANTINA – BA

Luisa D. V. de Carvalho^{1,2}, Jorgen Schnellrath¹, Sílvia R. de Medeiros², Fabrício F. Vieira³

1 Laboratório de Pesquisas Gemológicas (LAPEGE) / Centro de Tecnologia Mineral CETEM/MCTI

Av. Pedro Calmon, 900, Cid. Universitária, 21941-908. Rio de Janeiro - RJ (Brasil);

2 Programa de Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, IGEO/CCMN-UFRJ, Ilha do Fundão,

21949-900. Rio de Janeiro – RJ (Brasil)

3 Programa de Pós-Graduação em Exploração Petrolífera e Mineral – UFCG – Av. Aprígio Veloso 882, Bloco

BY, Cidade Universitária, 58109-970. Campina Grande - PB (Brasil);

luisadv@gmail.com

RESUMO

A Chapada Diamantina, na Bahia, apresenta grande importância histórica por suas ocorrências de diamantes. Descobertos no século XIX, os diamantes da região nunca foram estudados de forma sistemática, e ainda paira a dúvida sobre sua origem primária. O presente trabalho teve por objetivo investigar 86 diamantes provenientes do garimpo Santa Rita, no rio Paraguaçu, município de Andaraí – BA, e faz parte de um esforço maior, no qual se pretende estudar sistematicamente todos os diamantes obtidos durante o Projeto Diamante Brasil da CPRM. A ocorrência de diamantes nos aluviões e coluviões da região está relacionada à erosão e posterior retrabalhamento dos conglomerados diamantíferos da Formação Tombador. As amostras foram analisadas segundo suas características morfológicas, ópticas e superficiais, utilizando-se de técnicas espectroscópicas e de microscopia óptica e eletrônica. Os resultados irão auxiliar em estudos de proveniência dos diamantes por área produtora, além, é claro, de acrescentar dados para uma melhor interpretação das condições do ambiente de crescimento e residência dos diamantes. Os cristais analisados possuem em geral hábitos bem definidos, predominando dodecaedróides altamente reabsorvidos, com alta frequência de figuras de corrosão superficiais. É notável a presença de cristais octaédricos e geminados, e predominam colorações de tons levemente amarelados e amarronzados. Quando excitados por luz ultravioleta de ondas curtas, fluorescem caracteristicamente em tons de amarelo. Através das análises espectroscópicas foi possível verificar que os diamantes são predominantemente do tipo IaB, sendo o segundo tipo mais representativo o IaA. A

espectroscopia óptica detectou a presença de dois defeitos, o N3 e o 3H. Este último evidenciou que estes diamantes sofreram irradiação, que provavelmente ocorreu devido ao contato com minerais radioativos da Formação Tombador, resultando também em spots verdes e marrons na superfície da maioria dos cristais.

PALAVRAS-CHAVE: mineralogia, diamante, Chapada Diamantina.

ABSTRACT

The Chapada Diamantina, in the state of Bahia, Brazil, has great historical significance for its diamond occurrences. First found in the nineteenth century, diamonds in this region have never been studied systematically and the question regarding their primary origin is still left open. This study aimed to investigate 86 diamonds from the Santa Rita diggings in the Paraguaçu river, in the municipality of Andaraí – BA, and is part of a larger effort, which aims to systematically study all diamonds collected during the Diamond Brazil Project from the Brazilian Geological Survey (CPRM). The occurrence of diamonds in alluviums and colluviums in the region is related to erosion and subsequent reworking of diamondiferous conglomerates from the Tombador formation. The samples were analyzed according to their morphological, optical and surface characteristics, using spectroscopic techniques and optical and electron microscopy. The results will assist in provenance studies of diamonds, and, of course, add data to a better interpretation of environmental conditions for growth and residence of diamonds. The analyzed crystals generally have well defined habits, predominantly highly resorbed dodecahedroids, with a high frequency of surface etch figures. The presence of octahedral and twinned crystals is remarkable, and the predominant colorations are slightly yellowish and brownish tints. When excited by shortwave ultraviolet light, they characteristically fluoresce in yellow tones. Through spectroscopic analysis we found out that diamonds are predominantly IaAB type, IaA being the second most representative type. The optical spectroscopy detected the presence of two defects, N3 and 3H. The latter defect showed that these diamonds have undergone irradiation, probably due to contact with radioactive minerals from the Tombador Formation, that also imprinted green and brown spots on the surface of most crystals.

KEYWORDS: mineralogia, diamante, Chapada Diamantina.

1. INTRODUÇÃO

O diamante é um polimorfo de carbono que se cristaliza na simetria cúbica sob condições de alta pressão e temperatura. Suas condições especiais de formação lhe conferem propriedades únicas, como altas dureza, condutividade térmica e índice de refração. Popularmente conhecido por seu uso como gema, cerca de 80% dos diamantes naturais são utilizados na indústria. O mineral ocupa uma posição sem competição entre os abrasivos (Barbosa, 1991).

Conhecido desde os tempos bíblicos, a Índia foi certamente o primeiro país a produzir diamantes antes do Brasil. A descoberta em nosso território ocorreu na região de Diamantina – MG e foi oficialmente comunicada à Coroa Portuguesa em 22 de julho de 1729 (Barbosa, 1991).

Somente em 1841, às margens do rio Mucugê, no contexto geológico da Chapada Diamantina, o diamante foi encontrado no estado da Bahia, quando os cientistas alemães, Spix e Martius, vindos de Minas Gerais, faziam a travessia do sertão baiano pela Serra do Sincorá (Leonardos, 1937).

Na Bahia, a produção mais significativa de diamantes ocorreu nas décadas seguintes ao seu descobrimento, destacando-se a produção de carbonados, e decaindo paulatinamente após a virada do século (Barbosa, 1991). Em torno das atividades garimpeiras muitas cidades se desenvolveram, como Rio de Contas, Morro do Chapéu, Andaraí, Iguatu e Lençóis, definindo assim a região que passou a ser chamada de Chapada Diamantina. Cidades como Andaraí, Iguatu, Lençóis e Mucugê, que se inserem parcialmente dentro dos limites do Parque Nacional da Chapada Diamantina, tiveram sempre a maior repercussão econômica na produção de diamantes, onde a exploração se dá principalmente nos aluviões dos rios Paraguaçu, Santo Antônio e São José (Sampaio, 1994).

1.1 Contexto Geológico

A Chapada Diamantina, localizada na parte central da Bahia, está inserida no contexto geológico do cráton São Francisco, que consiste em um embasamento arqueano-paleoproterozóico e coberturas paleo-mesoproterozóicas e neoproterozóicas dos Supergrupos Espinhaço e São Francisco, respectivamente (Barbosa *et al.*, 2012a).

As rochas do embasamento são formadas quase exclusivamente por litologias metamórficas de alto a médio grau do Bloco Gavião e granitóides associados a eventos metamórfico-migmatíticos (Barbosa *et al.*, 2012a). As rochas de cobertura se iniciam com uma sucessão de rochas metassedimentares e metavulcânicas continentais e marinhas do Supergrupo Espinhaço, sobre as

quais estão assentadas, em discordância erosiva de caráter regional, as rochas carbonáticas e siliciclásticas do Supergrupo São Francisco (Guimarães *et al.*, 2012).

As ocorrências de diamantes mais importantes da Chapada Diamantina estão relacionadas à Formação Tombador, pertencente ao Grupo Chapada Diamantina, do Supergrupo Espinhaço. Esta formação compreende três associações de litofácies siliciclásticas, sendo a inferior e a intermediária compostas por metarenitos e metaconglomerados, estes últimos portadores de diamante detrítico (Barbosa *et al.*, 2012b). Os depósitos de diamantes conhecidos na região de Andaraí são eluvio-coluvionares e aluvionares de idade quaternária e considerados como produto da desintegração e reconcentração de conglomerados e microconglomerados da Formação Tombador (Bonfim e Pedreira, 1990).

Barbosa *et al.* (2012b) sugerem que uma possível área fonte para estes diamantes sejam os kimberlitos Salvador 1, 2 e 3, que afloram ao longo de uma falha NW-SE no contexto do Grupo Chapada Diamantina, próximo ao município de Barra do Mendes. No entanto, devido à ausência de minerais satélites típicos, a gênese dos diamantes na região, e em toda a Serra do Espinhaço, ainda é controversa (cf. Chaves *et al.*, 1998).

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo apresentar os dados obtidos pelas análises morfológica, de figuras e estruturas de superfície e de propriedades espectroscópicas de diamantes da região de Andaraí-BA. Os resultados auxiliarão na interpretação das condições do ambiente de crescimento e residência dos diamantes desta região e, potencialmente, em estudos de proveniência do diamante, ou seja, determinação de sua origem geográfica.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A caracterização mineralógica dos diamantes de Andaraí foi feita através da observação de feições ópticas e análises morfológica, de superfície e espectroscópica de 86 diamantes provenientes das margens do rio Paraguaçu, no Garimpo Santa Rita, município de Andaraí-BA. Os diamantes foram obtidos por meio do Projeto Diamante Brasil e cedidos para estudos pela CPRM através de parceria firmada com o CETEM.

A análise morfológica foi feita em microscópio vertical de campo escuro Schneider, modelo Stemi 2000C, com óptica Zeiss, onde também se observou a presença de inclusões, figuras de superfície e coloração. Análises complementares, para auxílio na interpretação da morfologia e das figuras de superfície, foram feitas no Microscópio Eletrônico de Varredura modelo TM3030 Plus, com EDS acoplado. O registro fotográfico dos diamantes foi realizado em lupa binocular modelo Discovery.V20 com câmera AxioCam MRc5 Zeiss.

Para a identificação de defeitos ópticos, os diamantes do presente estudo foram analisados por espectroscopia óptica no equipamento UV/Vis/NIR (Ultraviolet-visible-near infrared) Lambda 750S, equipado com esfera de integração. Para se determinar a tipologia do diamante, foi utilizado o equipamento FT-IR/NIR (*Fourier Transform Infrared/near infrared*) Spectrum 400, equipado com condensador de feixes. Todos os espectros foram obtidos em temperatura ambiente. Para a correlação da fluorescência com os defeitos e impurezas diagnosticados com as técnicas espectroscópicas, os diamantes foram excitados pelos comprimentos de onda de 254 nm e 365 nm da lâmpada de luz ultravioleta compacta UVP modelo UVGL-25.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os 86 diamantes estudados são bastante diminutos e possuem em média 0,03 ct. Quanto à morfologia, optou-se por uma classificação simplificada, com base no trabalho de Harris *et al.* (1975). As diversas formas aqui chamadas de dodecaedróides, do ponto de vista cristalográfico, deveriam ser subdivididas, porém, optamos pela simplificação por considerarmos que todas levam a um mesmo raciocínio na evolução da morfologia. A opinião mais comum é que a morfologia desses cristais é o resultado da dissolução do diamante, principalmente quando em contato com o magma kimberlítico ou lamproítico. Estudos também sugerem que essa dissolução pode ocorrer durante o tempo de residência do mineral no manto (Khokhryakov & Pal'yanov, 2007).

Dessa maneira, cerca de 62% dos diamantes foram classificados como dodecaedróides (**Figuras 1A, 1B, 1C e 1D**). Destacou-se a presença de cristais octaédricos (**Figura 1E**), representando cerca de 14% do total, e cristais geminados – aproximadamente 8% (**Figura 1F**). Do restante, cerca de 15% dos cristais foram classificados como fragmentados ou irregulares (possuindo menos de 50% do hábito original) (**Figura 1G**) e apenas 1 cristal como do tipo *flat* (**Figura 1H**), representando pouco mais de 1% do total.

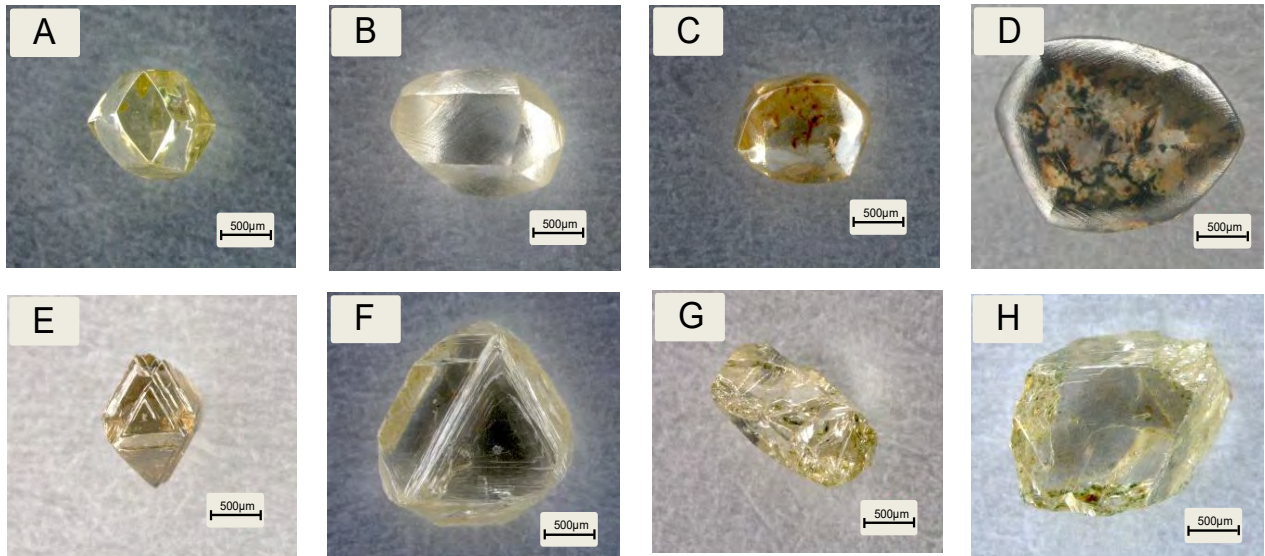


Figura 1: A, B, C e D – formas aqui tratadas como dodecaedrídes, observar nas figuras C e D a presença de manchas (spots) verdes e marrons na superfície dos cristais. E – Cristal com hábito octaédrico. F – Cristal geminado. G – Cristal com forma indefinida. H – Cristal do tipo flat.

A análise de superfície permitiu verificar a presença de trógonos, microlaminação, *hillocks* e estrias. Essas feições estariam associadas à evolução do processo de dissolução (Khokhryakov & Pal'yanov, 2007), tendo sido observadas com maior frequência as duas últimas. Destacou-se a presença de diamantes com a superfície ondulada e brilho acentuado (**Figura 2A**) e outros com um padrão rômbico de fissuras superficiais (**Figura 2B**). Orlov (1977) descreve a primeira feição como anterior à segunda, estando estas relacionadas à corrosão em processos tardios da dissolução.

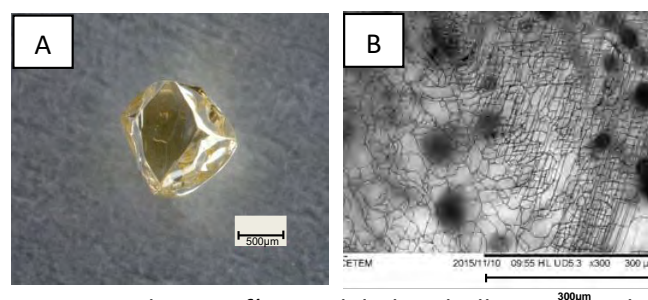


Figura 2: A – Diamante apresentando superfície ondulada e brilho acentuado. B – Imagem de microscópio eletrônico de varredura mostrando a rede rômbica de fissuras observada na superfície de alguns diamantes.

Dentre as colorações observadas, predominam os tons amarelados em mais de 50% dos diamantes, seguidos por tons amarronzados e quase incolores. Destaca-se a presença de manchas verdes e marrons que ocorrem na superfície de 85% das amostras estudadas (**Figuras 1C e 1D**). Há um leve predomínio das manchas de cor marrom, e 13% dos diamantes apresentam manchas de ambas as cores

Estudos relatam que a presença de *spots* verdes em diamantes se dá devido à irradiação natural dos cristais por partículas alfa emitidas por minerais ou soluções com tório e/ou urânio. Essa irradiação poderia ocorrer devido ao contato direto com grãos radioativos ou a soluções dentro do próprio kimberlito. Resultados obtidos em laboratório mostraram que essas manchas se tornam marrons quando aquecidas acima de 600 °C (Vance *et al.*, 1973).

As análises por espectroscopia óptica permitiram reconhecer a presença de dois defeitos na grande maioria dos diamantes (**Figura 3**). Essas imperfeições no retículo cristalino, com bandas de absorção em 415,2 nm e 503,4 nm, são conhecidas como N3 e 3H, respectivamente. O primeiro (N3) consiste de três átomos substitucionais de nitrogênio circundando uma vacância e é o defeito pontual mais comum em diamantes do tipo Ia, com implicância apenas na coloração amarelada observada na vasta maioria dos diamantes até hoje estudados. O 3H, que se acredita estar relacionado ao carbono intersticial, é produzido por irradiação (Collins, 1982).

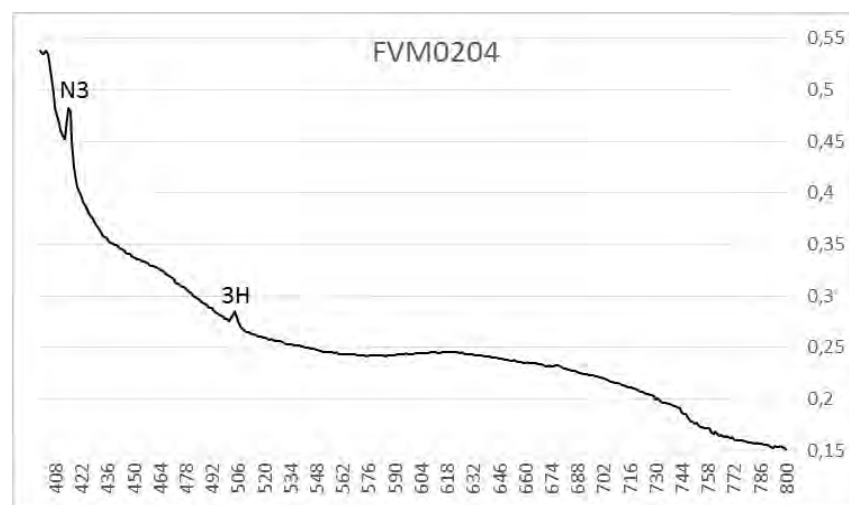


Figura 3: Espectro do diamante FVM0204 mostrando as bandas de absorção correspondentes aos defeitos ópticos N3 e 3H. Resolução de 1 nm, espectro obtido em temperatura ambiente.

Outra propriedade que é consideravelmente influenciada pelos efeitos de impurezas e imperfeições estruturais é a fluorescência (Dyer e Matthews, 1958). Quando expostos à luz ultravioleta de ondas curtas (254 nm), destacaram-se os tons amarelados que ocorrem na grande maioria dos diamantes; nas ondas longas predominam tons de azul e amarelo intensos. Cerca de 10% dos diamantes apresentam fosforescência de dezenas de segundos.

Diamantes também exibem importantes feições de absorção na região do infravermelho médio. O sistema de classificação dos diamantes os divide em categorias com base na presença ou

ausência de nitrogênio, que é a impureza mais comum no mineral, e na maneira com a qual seus átomos se arranjam ao substituir os átomos de carbono (Breeding & Shigley, 2009).

Estudos mostram que o nitrogênio é inicialmente incorporado de forma isolada (tipo Ib). Num primeiro estágio de agregação, pares de nitrogênio se formam (agregados do tipo A). A maiores temperaturas os pares de nitrogênio se unem formando agregados do tipo B. É, portanto, comum que a maioria dos diamantes sejam de tipos intermediários entre A e B (Collins, 1999).

Do total de 86 espectros obtidos por espectroscopia de infravermelho, foi possível, com base na posição dos picos e suas intensidades relativas, reconhecer o tipo em 84 deles. Assim, 60,7% dos diamantes são do tipo IaAB (**Figura 4A**) e 33,3% são do tipo IaA (**Figura 4B**). Do restante, 3 amostras são do tipo IIa (~3,6%) (**Figura 4C**) e 2 amostras são do tipo Ib (~2,4%) (**Figura 4D**).

Através do espectro infravermelho foi possível também verificar que cerca de 85% dos diamantes apresentam a banda em 3107 cm^{-1} , relacionada à presença de hidrogênio. As concentrações são bastante baixas. A maneira e quantidade de hidrogênio incorporado fornece informações nas condições naturais de crescimento do diamante (Fritsch *et al.*, 2007).

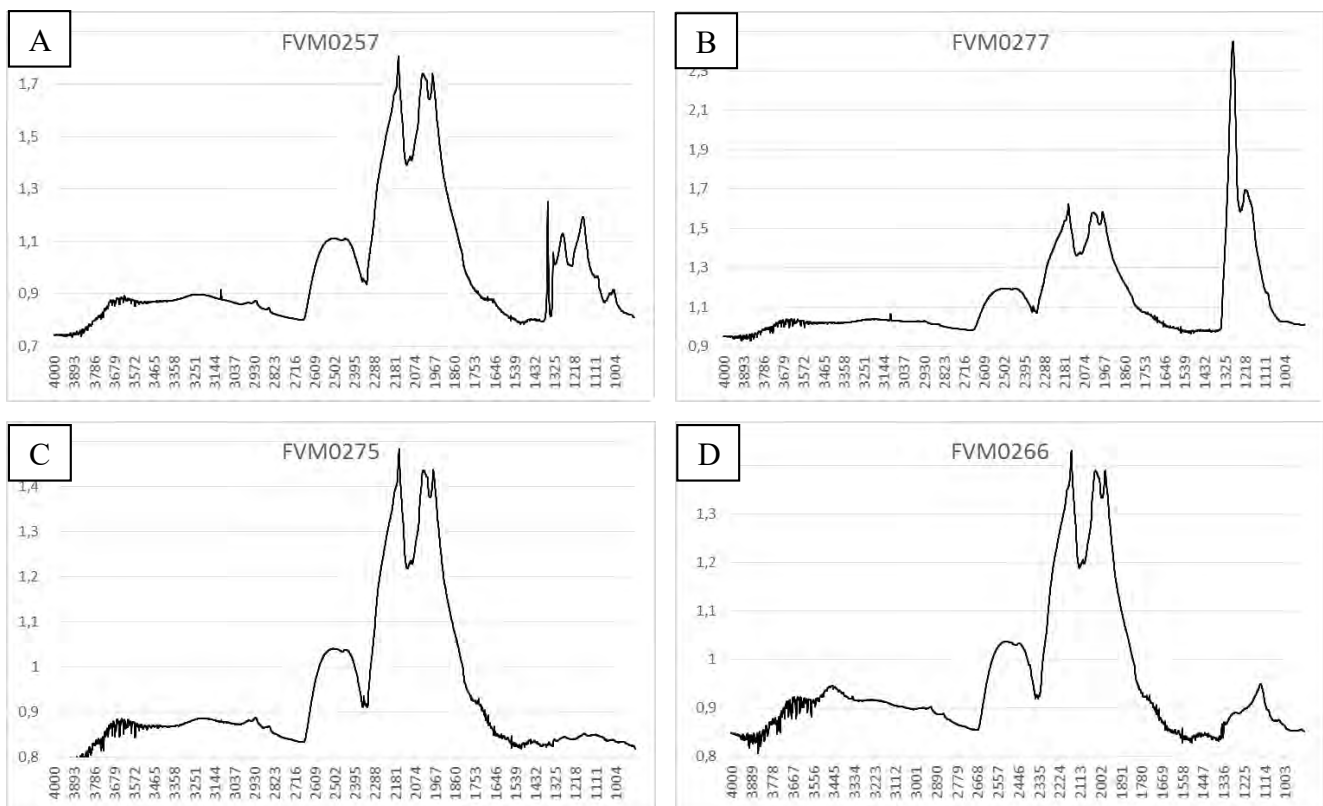


Figura 4: Os espectros A, B, C e D são de diamantes dos tipos IaAB, IaA, IIa e Ib, respectivamente. Os espectros foram obtidos em temperatura ambiente e possuem resolução de 2 cm^{-1} .

5. CONCLUSÕES

Conforme estudos apresentados no Projeto DNA do Diamante, da Polícia Federal, a classificação dos cristais com base em características como morfologia, tamanho, cor, figuras de superfície, dentre outras, são suficientes para se determinar a proveniência do mineral (APCF, 2016).

No caso dos diamantes de Andaraí, parece ser notável a presença de cristais bem formados e de pequeno tamanho, altamente reabsorvidos, com colorações levemente amareladas a amarronzadas e com manchas verdes e marrons na superfície. Esta última característica parece ser a mais marcante para permitir diferenciá-los de diamantes de outros depósitos no Brasil.

O presente estudo sugere que através das características espectroscópicas dos diamantes seja possível reconhecer uma “impressão digital” para as diferentes ocorrências. Neste caso, o que parece ser característico dos diamantes estudados é a presença da banda 3H, que evidencia a irradiação sofrida pelos diamantes. Esta se deu provavelmente devido ao contato com minerais radioativos nos sedimentos da Formação Tombador. Além das baixas concentrações de hidrogênio e nitrogênio, a predominância de agregados do tipo A se mostra também uma característica potencialmente distintiva para os diamantes da região, o que, entretanto, requer mais estudos comparativos com diamantes de outras regiões no Brasil.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CPRM pela cessão das amostras do Projeto Diamante Brasil para a realização dos estudos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APCF. DNA do diamante: PF cria método para definir origem das pedras preciosas. Disponível em: <<http://www.apcf.org.br/Noticias/AgenciaAPCF/tabid/341/post/dna-do-diamante-pf-cria-m-todo-para-definir-origem-das-pedras-preciosas/Default.aspx>> Acesso em 07/03/2016.

BARBOSA, J. S. F., CRUZ, S. P., SOUZA, S. Terrenos metamórficos do embasamento. *In: Geologia da Bahia, pesquisa e atualização*. Barbosa, J. S. F. (ed). CBPM, Salvador (2012a) p. 101-199.

BARBOSA, J. S. F., MASCARENHAS, J. F., DOMINGUEZ, J. M. L, TEIXEIRA NETTO, A. S. Evolução tectônica e metalogenética. *In: Geologia da Bahia, pesquisa e atualização*. Barbosa, J. S. F. (ed). CBPM, Salvador (2012b) p. 517-565.

BARBOSA, O. Diamante no Brasil: histórico, ocorrência, prospecção e lavra. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Brasília (1991) 136 p.

BONFIM, L. F. C. & PEDREIRA, A. J. Lençóis: Folha SD.24-V-A-V, Estado da Bahia, texto explicativo. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. DNPM/CPRM. Brasília (1990) 129p.

BREEDING, C. M., & SHYGLEI, J. E. (2009). The " Type" Classification system of diamonds and its importance in gemology. *Gems & Gemology*, 45(2), 96-111.

CHAVES, M. L. D. S. C., KARUNKEL, J., & SVISERO, D. P. Sobre a polêmica da origem do diamante na Serra do Espinhaço (Minas Gerais): um enfoque mineralógico. **Brazilian Journal of Geology**, 28(3) (1998) 285-294.

COLLINS, A.T. Colour centers in diamond. **The Journal of Gemmology**, Vol. 18, No. 1 (1982) p. 37–75.

COLLINS, A. T. Things we still don't know about optical centres in diamond. **Diamond and related materials**, v. 8, n. 8, (1999) p. 1455-1462.

DYER, H. B., MATTHEWS, I. G. The fluorescence of diamond. **Proceedings of the Royal Society**, Vol. A243, (1957) pp. 320–335.

FRITSCH, E., HAINSCHWANG, T., MASSI, L., & RONDEAU, B. Hydrogen-related optical centers in natural diamond: An update. **New Diamond and Frontier Carbon Technology**, 17(2) (2007) 63-88.

GUIMARÃES, J. T., ALKMIM, F. F., CRUZ, S. C. P. Supergrupos Espinhaço e São Francisco. *In: Geologia da Bahia, pesquisa e atualização*. Barbosa, J. S. F. (ed). CBPM, Salvador (2012) p 33-86.

HARRIS, J. W., HAWTHORNE, J. B., OOSTERVELD, M. M., & WEHMEYER, E. (1975). A classification scheme for diamond and a comparative study of South African diamond characteristics. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 9 (1975) p. 765-783.

KHOKHRYAKOV, A. F., & PAL'YANOV, Y. N. (2007). The evolution of diamond morphology in the process of dissolution: Experimental data. **American Mineralogist**, 92(5-6), 909-917.

LEONARDOS, O. H. Diamante e Carbonado no Estado da Bahia. **Mineração e Metalurgia**. Vol 5 (1937) p. 183-192

ORLOV, I. L. The mineralogy of the diamond. John Wiley & Sons. (1977) 235 p.

SAMPAIO, D. R. Diamantes e carbonados do alto Rio Paraguaçu: geologia e potencialidade econômica. Salvador. CBPM (1994) 24 p.

VANCE, E.R.; HARRIS, J.W.; MILLEDGE, H.J. Possible origins of α -damage in diamonds from kimberlite and alluvial sources. **Mineralogical Magazine**, v.39 (1973) p.349-360.

VERMICULITA, MAIS QUE UM MINERAL TERMO ACÚSTICO

Silvia C. A. França¹, Paulo F. A. Braga¹, Hudson J. B. Couto¹, Caroline C. Gonçalves¹

Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCTI)

sfranca@cetem.gov.br

RESUMO

A vermiculita é um silicato hidratado de formato lamelar, contendo quantidades variáveis de ferro, magnésio, potássio e alumínio. Suas características físicas são as mesmas das micas, no que se refere à clivagem típica, separando-se em finas lamelas flexíveis, porém sem elasticidade. No Brasil, os depósitos e jazidas de vermiculita estão localizados nos estados da Paraíba, Goiás e Piauí. Os minérios brasileiros não contêm asbestos, o que confere aos concentrados minerais maior valor agregado, além de favorecer o melhor aproveitamento econômico do bem mineral. A vermiculita tem aplicação consagrada na construção civil, como componente de materiais isolantes termo acústico e retardante de chama, porém suas propriedades de superfície, em particular, área superficial, hidrofobicidade, porosidade e carga superficial negativa, fazem dela um material recomendado para uso como absorvente e carreador, de grande uso na agricultura. Devido às propriedades de troca iônica que possui, semelhante a algumas argilas e zeólitas, a vermiculita pode ainda ser utilizada em processos de remoção de contaminantes orgânicos e na purificação de águas residuais contendo sais dissolvidos e metais pesados. O Brasil detém 11% das reservas mundiais de vermiculita e ocupa, atualmente, a terceira posição na produção mundial, respondendo por 15,6%. A produção nacional teve expressivo aumento de 30% desde 2012, saindo de 52 para 68 mt, e o preço internacional, no mesmo período, apresentou alta de mais de 200%. Impulsionado pelo crescimento na produção, este estudo tem como objetivo apresentar outros usos e aplicações da vermiculita, além das já bem consagradas na construção civil, e traçar um panorama das suas aplicações atuais e potenciais para melhor aproveitamento desse mineral industrial.

PALAVRAS-CHAVE: vermiculita, adsorvente, aplicações tecnológicas.

ABSTRACT

Vermiculite is a lamellar hydrated silicate mineral, containing varying amounts of iron, magnesium, potassium and aluminum. Its physical characteristics are the same as mica, regarding the typical cleavage, separating into thin flexible lamellae, but with low elasticity. In Brazil the vermiculite deposits and mines are located in the states of Paraíba, Goiás and Piauí. Brazilian ores do not contain asbestos, which gives to the mineral concentrates high added value, in addition to favoring the best economic use of the mineral. Vermiculite is a very useful product in the construction and building industry, as a component of thermo-acoustic insulating materials, flame retardants and fire-proof plasters, but its surface properties, in particular surface area, hydrophobicity, porosity and negative surface charge make it a recommended material also for use as an absorbent and carrier with important application in agriculture. Due to its properties of ion exchange - similar to clays and some zeolites - vermiculite may also be used in processes for removing organic contaminants and purification of wastewater containing dissolved salts and heavy metals. Brazil has 11% of world reserves of vermiculite and occupies currently third in the world production, accounting for 15.6%. Domestic production had a significant increase of 30% since 2012, going from 52 to 68 mt, and the international price in the same period showed an increase of over 200%. Driven by growth in the domestic production, this study aims to present other uses and applications to vermiculite, besides the already well established in construction, and give an overview of its current and potential applications for better use of this industrial mineral.

KEYWORDS: vermiculite, adsorbent, technological applications.

1. INTRODUÇÃO

A vermiculita é um mineral industrial encontrado em vários países como Austrália, Brasil, Bulgária, China, Rússia, África do Sul, Uganda, Estados Unidos e Zimbábue, que também são os principais *players* mundiais. Vermiculita é o nome geológico dado a um grupo de minerais laminares hidratados que são silicatos de alumínio-ferro-magnésio, assemelhando-se a mica em aparência. Mineralogicamente, ela pertence ao grupo dos filossilicatos, podendo ser oriunda de processos metamórficos, magmáticos, hidrotermais, diagenéticos e intempéricos. Possui hábito achatado ou escamado e clivagem basal perfeita a proeminente; suas lamelas de clivagem (placas)

são flexíveis elásticas ou plásticas, mais raramente quebradiças. De um modo geral, os filossilicatos argilosos, como a vermiculita, exibem baixa dureza (entre 1,5 a 2 na escala Mohs), e densidade relativamente baixa em relação a outros silicatos. Sua fórmula química geral está representada na Equação 1 (UNESP, 2016):



A composição química geral de uma vermiculita, em termos de óxidos, é 14,4% MgO, 43,5% Al₂O₃, 12,8% FeO, 11,9% SiO₂, 17,9% H₂O. Porém, é comum a substituição do cálcio por sódio ou potássio, como no caso da vermiculita de Santa Luzia, PB, que tem um teor de aproximadamente 5% de K₂O em sua composição. No beneficiamento, a rocha encaixante e outras impurezas minerais são removidas do minério com auxílio das operações de cominuição e classificação por tamanhos. O concentrado final é um material inerte, leve, incombustível e insolúvel em água e todos solventes orgânicos. Quando aquecida se expande (esfolia) até 30 vezes o seu volume original. Esse processo de esfoliação transforma os flocos densos de minério em grânulos porosos e leves, contendo inúmeras camadas de ar diminutas.

A vermiculita expandida (esfoliada) é leve e fácil de manusear, tem um elevado grau de isolamento, propriedades de isolamento acústico e capacidade de absorver e reter uma vasta gama de líquidos (orgânicos e inorgânicos). Esse material esfoliado é usado na fabricação de freios automotivos, isolamento térmico de paredes e telhados, produtos da construção civil, rações para animais, horticultura e muitas outras aplicações industriais (DUPRÉ MINERALS, 2016). Suas propriedades de superfície, somadas aos elevados valores de área superficial específica, porosidade e carga superficial (negativa), fazem da vermiculita um material adequado para o uso como adsorvente ou como carreador, tendo uma capacidade de troca iônica estimada em valores na faixa de 100 a 130 meq/100 g (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2005).

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho é mostrar novos usos e aplicações da vermiculita, além das suas consagradas propriedades termoacústicas, tão difundidas e aplicadas na construção civil como a produção de materiais isolantes e confecção de produtos para isolamento acústico. Também se pretende traçar um *draft* atualizado para os aproveitamentos atuais e potenciais, sempre cotejando os mercados nacional e mundial.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo desenvolvido foi baseado na análise de trabalhos técnicos publicados em periódicos, teses e apresentações em eventos técnicos científicos. O levantamento bibliográfico foi realizado por meio de consulta a sítios de editores de periódicos e bibliotecas de entidades científicas, profissionais e governamentais, como: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES; Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM (www.dnpm.gov.br) *United States Geological Survey- USGS* (www.usgs.gov); Ministério de Minas e Energia – MME (www.mme.gov.br); Serviço Geológico Brasileiro – CPRM (www.cprm.gov.br); Centro de Tecnologia Mineral - Mineral data (www.cetem.gov.br/8080/mineraldata); FINEP CT Mineral Secretaria Técnica do Fundo Setorial Mineral (www.finep.com.br); *GDF Statistics – Nation master* (www.nationmaster.com); *Imerys Vermiculite* (www.imerysvermiculite.com); *Industrial Minerals* (www.indmin.com); Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior - MDIC (www.aliceweb.mdic.gov.br) e ao Portal de Periódicos CAPES/MEC (www.periodicos.capes.gov.br)

3. ECONOMIA MINERAL DA VERMICULITA

Os depósitos brasileiros de vermiculita conhecidos ocorrem dentro de zonas de complexos máfico-ultramáficos serpentinizados e carbonatitos derivados de alteração da mica. Os depósitos metamorfizados (máfico-ultramáfico), frequentemente, contêm silicatos como a serpentina crisotila e anfibólios como a tremolita, que são minerais de asbestos. Já os depósitos de carbonatitos não contêm minerais do grupo do asbestos. Novas tecnologias permitem a produção de concentrado de vermiculita livre de asbestos, por meio da retirada do mesmo durante o processo de beneficiamento (peneiramento ou classificação) (SZNELWAR E SCALABRIN, 2009). Segundo dados do Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), as reservas brasileiras de vermiculita somam um total de 6,3Mt de minério contido (PAULA, 2014). A produção mundial de vermiculita, em 2015, foi de 408 mt/ano (crescimento de 7% em relação a 2014), sendo os maiores produtores a África do Sul, os Estados Unidos e o Brasil, com cerca de 160, 100 e 70 mt, respectivamente. Além do Brasil, que é o terceiro maior produtor mundial, outros produtores de vermiculita são o Zimbábue, a Bulgária e a Índia. Na Figura 1 está ilustrada a produção mundial de vermiculita por país no ano de 2015, a qual correspondeu a 408.000 t de minério.

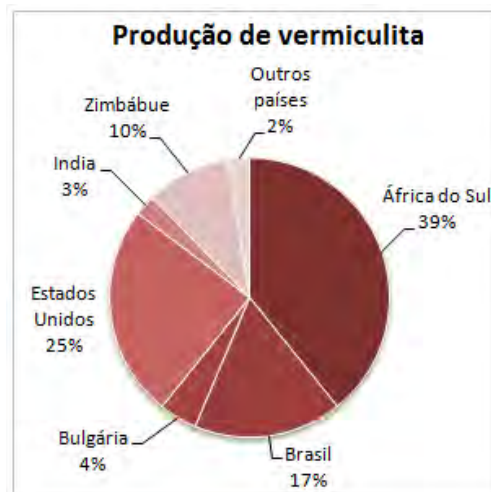


Figura 1 - Produção mundial de vermiculita por país (TANNER, 2015)

Na Figura 2 pode-se observar a relação entre importação de vermiculita expandida (produto semimanufaturado) e a exportação de vermiculita não expandida (produto primário), no que concerne a quantidade de material produzido e o seu preço, durante o período de 2010 a 2015.

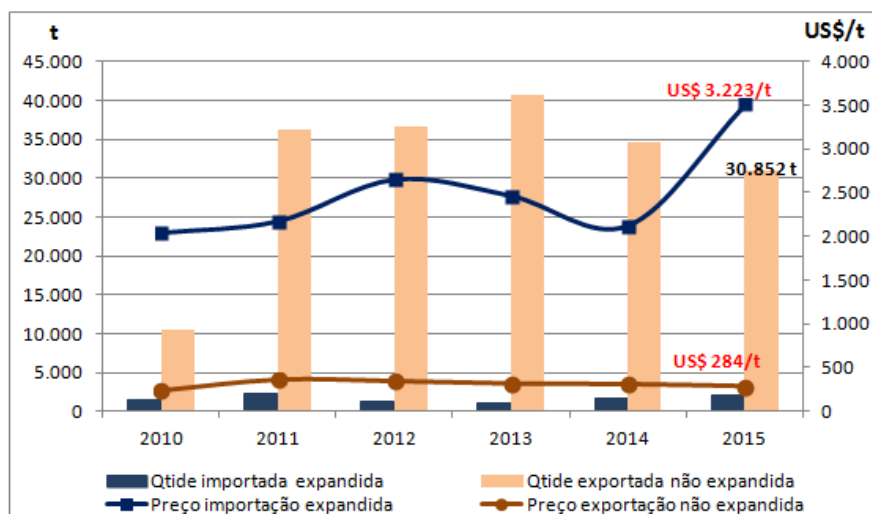


Figura 2-Importação e exportação brasileira de vermiculita expandida (MDIC, 2016)

Fica claro que o Brasil continua a exportar quantidades significativas de concentrado (30.852 t) de baixo valor, ao preço de US\$ 284/t, enquanto importa produtos de maior valor agregado, ao preço de US\$ 3.223/t (MDIC, 2016), caracterizando o grande desfavorecimento da balança comercial em relação a esse bem mineral e seus produtos industrializados. As exportações brasileiras de vermiculita expandida são praticamente irrisórias (413 t), ao preço de US\$ 1.395/t, em 2015. A relação de preços da vermiculita expandida importada (US\$ 3.223/t) com a vermiculita

expandida nacional exportada (US\$ 1.395/t) é de 2,3 vezes, evidenciando a existência de uma lacuna tecnológica entre os produtos.

Reis (2002), no trabalho “Vermiculita no Brasil: Situação Atual” fez uma análise crítica matricial, enfocando forças, fraquezas, ameaças e oportunidades (matriz *swot*), a qual permanece quase inalteradamesmo depois de 14 anos. Como pontos fortes, o autor citou: a geologia favorável com dois tipos de depósitos e reservas abundantes; tecnologia disponível e laboratórios de desenvolvimento; mercado interno crescente e diversificado, capitaneado pela construção civil e agricultura (as quais continuam como molas propulsoras); o país é um exportador mundial emergente e crescente (cerca de 31 mt de concentrado de vermiculita, em 2015) e câmbio favorável para exportação (atualmente as taxas de câmbio estão similares às do final de 2002 e continuam favoráveis à exportação). Como pontos fracos, apontou as deficiências no conhecimento das jazidas e dificuldades no cálculo de recursos e reservas; a carência de centros tecnológicos especializados; a condição do Brasil de exportador de concentrado mineral, insumo de baixo valor agregado; produção de concentrados de qualidade variável e sem padrões e/ou especificações e carência de tecnologia para produção de manufaturados, com alto valor agregado. As principais ameaças ao mercado nacional foram relacionadas à exportação de concentrados minerais de baixo valor e à carência de desenvolvimento de novos produtos pela indústria nacional, com maior valor agregado. Finalmente, em relação às oportunidades, foi mencionado que existe uma demanda crescente, com poucos fornecedores mundiais, situação esta que ainda perdura. Os produtores internacionais enfrentam problemas como contaminantes (principalmente asbestos) e instabilidade política (principalmente, nos países africanos e agora, também no Brasil). Portanto, há de se considerar a potencialidade para crescimento da produção nacional de vermiculita, pois esta ainda não foi atingida uma economia de escala.

4. USOS E APLICAÇÕES DA VERMICULITA

A vermiculita é um mineral micáceo, com vasta aplicação industrial devido às peculiaridades da sua estrutura química e mineralógica. Suas características físicas são as mesmas das micas, no que se refere à clivagem típica, separando-se em finas lamelas flexíveis, porém sem elasticidade. A perda do conteúdo de água da sua estrutura permite a sua modificação estrutural, quando submetida a temperaturas acima de 900°C, tornando-a um material esfoliado, com aspecto de partículas sanfonadas, e com volume de 10 a 30 vezes maior, e elevados valores de área

superficial específica, na faixa de 100 m²/g (HASHIM *et al.*, 2015). O processo de esfoliação também pode ocorrer por meio do uso de ultrassom, micro-ondas ou por intercalação química com sais quaternários de amônio e peróxido de hidrogênio (MARCOS; RODRÍGUEZ, 2013). Os setores industriais de maior demanda por vermiculita são apresentados na Figura 3, com base em informações do grupo de consultoria inglês MC Group.



Figura 3 - Demanda global de vermiculita por setor de aplicação (adaptado de MC GROUP, 2016)

4.1 Material absorvente para a agricultura

A vermiculita tem aplicação ampla na agricultura, destacando-se a produção de substratos agrícolas, nos quais pode ser misturada com casca de pinus, turfa ou fibra de côco, além de ser também utilizada como cobertura em sementes, mudas e condicionadores de solo. Muitas peculiaridades da vermiculita são atrativas à atividade agrícola, quais sejam: elevada capacidade de troca de cátions (CTC), que minimiza a perda de fertilizantes por lixiviação; capacidade de retenção de água (CRA); inércia química; ausência de toxicidade, por ser processada a temperaturas acima de 900°C, evitando o desenvolvimento de microorganismos prejudiciais às culturas agrícolas; isolamento térmico, que serve como proteção às sementes em caso de variações bruscas de temperatura; a elevada porosidade, a qual favorece a aeração do solo (BRASIL MINÉRIOS, 2016; MONTE *et al.*, 2004).

4.2 Material isolante termoacústico

Atualmente, é muito comum o uso de vermiculita expandida na composição de argamassas. Os espaços vazios criados entre as lamelas de vermiculita, durante a sua expansão térmica, são

como pequenos "bolsões" de ar, os quais conferem ao material uma excepcional capacidade de isolamento. As maiores vantagens desse produto para construção civil são o peso reduzido, além das propriedades de isolamento térmico e acústico, proporcionando conforto térmico e diminuição de ruídos entre pavimentos. Por exemplo: 2,5 cm de argamassa com vermiculita fazem o mesmo efeito isolante de um revestimento com 25 cm de concreto comum (NTC BRASIL, 2016).

4.3 Tratamento de efluentes

A vermiculita esfoliada, térmica ou quimicamente, tem aplicação eficiente como material adsorvente no tratamento de efluentes com metais pesados, com eficiência comprovada na retenção de cobre, chumbo, cádmio e mercúrio (HASHIM *et al.*, 2015; TRAN *et al.*, 2015), dentre outros. Efluentes contendo corantes orgânicos catiônicos podem ser tratados com vermiculita natural, por meio do processo de adsorção (YU; WEI; WU, 2015). Silva *et al.* (2015) cita diferentes trabalhos da literatura que fizeram aplicação da vermiculita natural ou modificada quimicamente, em processo de adsorção de cobre, ferro e cério.

Além disso, a vermiculita expandida e hidrofobizada pode ser utilizada no tratamento de efluentes oleosos da indústria do petróleo, bem como na contenção de derramamentos de óleo acidentais em superfícies aquáticas (FRANÇA; ARRUDA; UGARTE, 2005). O biodiesel é um biocombustível proveniente de fontes renováveis, com grande potencial na substituição do diesel no Brasil. Entretanto, é gerada grande quantidade de efluente aquoso, contendo resíduo de óleo, causando consideráveis problemas ambientais. A minimização dos impactos desse efluente pode ser alcançada com o tratamento e reaproveitamento das águas de lavagem, por meio do uso de argilas modificadas quimicamente. Silva *et al.* (2015) realizaram um estudo prospectivo para avaliar o potencial tecnológico da vermiculita na área de adsorção de contaminantes oleosos provenientes da água de lavagem do biodiesel, com buscas em bases de dados de patentes INPI, Espacenet e USPTO, além de artigos científicos. Porém, não encontraram trabalhos referentes ao tema, vislumbrando-se assim a possibilidade de uma nova aplicação para o mineral, valendo-se da gama de propriedades físico-químicas de que a vermiculita dispõe.

Wegrzyn *et al.* (2013) estudaram materiais adsorventes para adsorção de compostos orgânicos fenólicos; enfatizaram que argilas sintéticas catiônicas têm boa eficiência na adsorção de compostos orgânicos fenólicos, porém baixa estabilidade química em meio aquoso; nesse campo os minerais silicatados apresentam maior estabilidade e eficiência. Dessa forma, os autores

avaliaram a aplicação da vermiculita como catalisador na oxidação avançada (AOP - *advanced oxidation process*) de compostos orgânicos poluentes, como fenóis. Foi observado que a atividade catalítica da vermiculita pode ser aumentada por meio da dopagem com íons Fe^{3+} , os quais provavelmente ficam adsorvidos nos espaços interlamelares, ou ainda, nas camadas octaédricas, proporcionando conversões de até 50% dos poluentes.

4.4 Siderurgia e fundição

Devido às suas características naturais, tais como a sua incombustibilidade e ponto de fusão na ordem dos 1350°C , o concentrado de vermiculita crua tem sido utilizado como cobertura de metais líquidos, na indústria siderúrgica. Devido ao calor liberado pelo metal líquido, ocorre a expansão do mineral, formando uma crosta que atua como camada isolante, evitando perdas térmicas. Essa aplicação é recomendada especialmente para aços com baixo teor de carbono (BRASIL MINÉRIOS, 2016). A vermiculita pode, ainda, ser utilizada como coagulante de escória contida no metal líquido, impedindo que as impurezas sejam vazadas da panela junto com o metal para os moldes, evitando assim contaminação (ADX, 2016).

4.5 Elementos de fricção

Uma aplicação bem recente da vermiculita na indústria é na fabricação de elementos de fricção e frenagem automobilística, como lonas e pastilhas de freio. O mineral é utilizado na forma não expandida e tem papel importante no setor, pois aparece como um substituto eficiente para compostos perigosos, como asbestos, devido à sua estabilidade química e física em larga faixa de temperatura (ADX, 2016; PALABORA EUROPE, 2016).

5. CONSIDERAÇÕES

A reflexão que se faz é que o cenário nacional pouco mudou nos últimos anos, mesmo diante das demandas por insumos e por desenvolvimento de tecnologia para o mercado da vermiculita. Dessa forma, percebe-se uma grande lacuna entre o mercado doméstico e internacional, e esta poderá ser preenchida pelas novas oportunidades de mercado, apresentadas nos panoramas econômico e tecnológico (aplicações industriais) traçados nesse trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADX. **Building Solutions**. Disponível em:

<<http://www.adxdepot.com.au/image/data/Data%20Sheets/Vermiculite%20Fact%20File.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

BRASIL MINÉRIOS. **Vermiculita**. Disponível em:

<<http://www.brasilminerios.com.br/b2c/loja/Pagina.do?action=home&idLoja=1775>>. Acesso em: 09 mar. 2016.

DUPRÉ MINERALS. **WHAT IS VERMICULITE?** Disponível em:

<<http://www.dupreminerals.com/en/vermiculite/introduction>>. Acesso em: 08 mar. 2016.

REIS, E. Vermiculita no Brasil Situação Atual. CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2002.

FRANÇA, S. C. A., ARRUDA, G. M., UGARTE, J. F. O. Utilization of vermiculite on the treatment of water contaminated with organic compounds. In: Proceedings of ENPROMER 2005 - 2nd Mercosur Congress on Chemical Engineering, 2005. Angra dos Reis: V. 1. p. 1-9.

HASHEM, F.S., AMIN, M.S., EL-GAMAL, S.M.A. Chemical activation of vermiculite to produce highly efficient material for Pb²⁺ and Cd²⁺ removal. *Applied Clay Science*, v. 115, p. 189-200, 2015.

MARCOS, C., RODRÍGUEZ, I. Exfoliation of vermiculites with chemical treatment using hydrogen peroxide and thermal treatment using microwaves. *Applied Clay Science*, v. 87, p. 219–227, 2013.

MDIC. **Consultas**. Banco de dados de consulta sobre importações e exportações de vermiculita. Disponível em: <<http://aliceweb.mdic.gov.br//index/home>>. Acesso em: 08 mar. 2016.

MONTE, M.B.M., BARROS, F.S., POLIDORO, J.C. Inovação tecnológica no uso de minerais industriais na agricultura - Projeto AGROMIN/CT-Mineral, CETEM/MCTI, Rio de Janeiro, 2004.

NTC BRASIL. **Vermiculita Expandida**. Disponível em:

<<https://www.ntcbrasil.com.br/outros/vermiculita-expandida>>. Acesso em: 08 mar. 2016.

PALABORA EUROPE. **Vermiculite Applications & Uses**. Disponível em:

<<http://palabora europe.co.uk/applications-uses#friction>>. Acesso em: 11 mar. 2016.

PAULA, R.F. Vermiculita. In: DNPM vol 34. *Sumário Mineral*. Brasília, 2014. 152 p., cap Vermiculita, p. 122-123.

SILVA, R. A. O, CUNHA e SILVA, M. C., SOUSA, H. R., SILVA, M. G. O., SANTOS, M. R. M. C., BRANDIM, A. S. Prospecção tecnológica do uso de argila vermiculita como adsorvente de contaminantes oleosos em processo de produção do biodiesel. *Cadernos de Prospecção*, UFBA, v. 8, n. 3, p. 544-551, 2015.

SZNELWAR, José Jaime; SCALABRIN, Remo. **Relatório Técnico 48: Perfil da Vermiculita**. Brasília: J. Mendo Consultoria, 2009. 35 p. Disponível em:

<http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P28_RT48_Perfil_da_Vermiculita.pdf/92473abd-64d9-4001-9937-cd0f92db8222>. Acesso em: 11 mar. 2016.

TANNER, Arnold O. (Ed.). **Vermiculite**. Estados Unidos: USGS, 2015. 2 p. Disponível em: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/vermiculite/mcs-2015-vermi.pdf>>. Acesso em: 08 mar. 2016.

UGARTE, J. F. O, SAMPAIO, J. A, FRANÇA, S. C. A. Vermiculita. In: LUZ, A. B., LINS, F. F. ed. **Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações**. 2 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005, 992p. cap 38, p. 866-887.

UNESP. Vermiculita. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/silicatos/filossilicatos/vermiculita.html>>. Acesso em: 08 mar. 2016.

WĘGRZYN, A., CHMIELARZ, L., ZJEŹDŹAŁKA, P., JABŁOŃSKA, M., KOWALCZYK, A., ŻELAZNY, A., VÁZQUEZ SULLEIRO, M., MICHALIK, M. Vermiculite-based catalysts for oxidation of organic pollutants in water and wastewater. **Acta Geodynamica et Geomaterialia**, v. 10, n. 3, p. 341–352, 2013.

YU, X., WEI, C., WU, H. Effect of molecular structure on the adsorption behavior of cationic dyes onto natural vermiculite. **Separation and Purification Technology**, v. 156, p. 489–495, 2015.

CARACTERIZAÇÃO DE AREIA PROPANTE DA BACIA DO PARNAÍBA

Paulo F. A. Braga¹, Francisco M. R. S. Lima², Guilherme C. Moreira³, Caroline C. Gonçalves⁴

^{1,2} Tecnologista Sênior, Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCTI)

^{3,4} Bolsista PCI, Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCTI)

pbraga@cetem.gov.br

RESUMO

A descoberta de grandes reservas de gás não convencional, como o *shale-gas*, vem gerando expectativa de mudanças no mercado mundial de energia. O *shale-gas* se encontra na rocha reservatório de origem sedimentar e é extraído por meio de uma injeção de alta pressão no poço perfurado na rocha hospedeira, utilizando uma mistura de água, propantes e compostos químicos para produzirem fraturas que permitam a liberação do gás. Os principais materiais usados como propantes na indústria petrolífera são as areias silicosas e produtos cerâmicos com alto teor de alumínio. Após o primeiro leilão, para exploração de gás não convencional, realizado pela Agência Nacional do Petróleo (ANP) e com o arremate de 72 blocos em cinco bacias sedimentares (Parnaíba, Recôncavo, Paraná, Acre e Sergipe-Alagoas), houve grande expectativa no crescimento da demanda de materiais propantes. Na bacia do Parnaíba são encontrados diversos depósitos eólicos recentes que apresentam grande potencialidade para produção de areia de fraturamento. Nela, as unidades geológicas com maior potencial para exploração de areia de fraturamento são arenitos e areias inconsolidadas de origem eólica das formações Piauí, Pedra do Fogo e Sambaíba. Neste trabalho foram caracterizadas quatro amostras de areias e três amostras arenitos segundo normas ABNT NBR ISO 13503. Os ensaios determinaram a distribuição granulométrica, a esfericidade e o arredondamento, a solubilidade em ácido, a turbidez, a resistência ao esmagamento, a densidade *bulk*, absoluta e aparente das amostras. Das amostras caracterizadas, verificou-se que apenas o propante 40/70 preparado com a areia da região de Carolina atinge os requisitos contidos na norma da ABNT, e apresenta potencial de uso em operações de fraturamento hidráulico.

PALAVRAS-CHAVE: gás de folhelho; propante; fraturamento hidráulico; Bacia do Parnaíba.

ABSTRACT

The discovery of large unconventional gas reserves, such as shale-gas, is generating expectations of changes in the global energy market. The shale-gas is in a sedimentary reservoir and is extracted by a high-pressure injection of a mixture of water, proppants and chemicals into the well, drilled in the host rock, to produce fractures that allow the release of gas. The main materials used as proppants, in the oil industry, are the siliceous sands and ceramic products with high aluminum content. After the first auction, for unconventional gas exploration, conducted by the National Petroleum Agency (ANP) and the acquisition of 72 blocks in five sedimentary basins (Parnaíba, Reconcavo, Paraná, Acre and Sergipe-Alagoas), there was great expectation on growth demand for proppant materials. In the Parnaíba Basin are found several recent eolian deposits that have potentiality for fracturing sand production. There, the geological units with great potential for the exploitation of proppants are sandstones and unconsolidated sands, both of wind sources, located at Formação Piauí, Pedra do Fogo and Sambaíba. In this work, it was characterized four samples of sand and three samples of sandstone according to ISO 13503 norm. The tests determined the size distribution, the particles sphericity and roundness, the acid solubility, turbidity, proppant crush resistance, bulk density, apparent density and absolute density of samples. According to the tests, only the proppant 40/70 of Carolina respect all requirements presented in ABNT norm, and can be used in hydraulic fracturing.

KEYWORDS: shale gas; proppant; hydraulic fracturing; Parnaíba Basin.

1. INTRODUÇÃO

A existência de significativas reservas de gás não convencional, como o gás de folhelho (*shale-gas*), no Brasil, vem impulsionando o mercado de propantes no país, principalmente após o primeiro leilão realizado pela Agência Nacional do Petróleo (ANP), no qual foram arrematados 72 blocos em cinco bacias sedimentares (Parnaíba, Recôncavo, Paraná, Acre e Sergipe-Alagoas). O *shale-gas* se encontra na rocha reservatório, de origem sedimentar, e é extraído por meio de uma injeção de alta pressão no poço perfurado na rocha hospedeira, utilizando-se uma mistura de água, propantes e compostos químicos, que produzem fraturas as quais permitem a liberação do

gás, e propiciam o aumento da produtividade do poço. Os principais materiais usados como propantes na indústria petrolífera são as areias silicosas, naturais ou resinadas, e produtos cerâmicos com alto teor de alumínio, como as bauxitas sinterizadas. No entanto, por questões econômicas, as areias silicosas naturais são uma opção interessante, e nesse contexto destaca-se a importância da descoberta e caracterização de depósitos de areias e/ou arenitos para este fim.

A caracterização dos produtos propantes é realizada segundo as normas ABNT NBR ISO 13503, baseada nas normas do *American Petroleum Institute* (API). Os ensaios se baseiam na análise granulométrica do material, turbidez, determinação da esfericidade e arredondamento, solubilidade em ácido, densidade *bulk*, densidade aparente, densidade absoluta e resistência ao esmagamento (ABNT, 2011 CACHAY, 2004, p. 27). Neste trabalho, foram caracterizadas cinco amostras de areias e arenitos da Bacia do Parnaíba, das localidades de Carolina/MA, Floriano/PI, José de Freitas/PI e União/PI.

Na bacia do Parnaíba, ou bacia do Maranhão–Piauí ou ainda bacia sedimentar do Meio Norte, são encontrados diversos depósitos eólicos recentes que apresentam grande potencial para produção de areia de fraturamento. Boa parte dos territórios do Piauí e do Maranhão está inserida nessa bacia, e esses terrenos sofreram deposição sedimentar, as quais oscilaram com transgressões e regressões marinhas (BAPTISTA, 2010, p. 92). Os arenitos de origem eólica das formações Piauí e Pedra do Fogo são citados como ocorrências passíveis de exploração de areias (MORAIS, 2004, p. 91), além da formação Sambaíba.

A região de Carolina/MA está localizada no domínio da Serra da Madeira. Os depósitos do tipo areias inconsolidadas do terciário-quadernário ocorrem na região como “restos” litológicos da Formação Sambaíba, que foram “erodidos” a partir das grandes manifestações areníticas, cujo caráter de distribuição horizontal e vertical pode ser observado por toda a região (CPRM, 2004). A coleta desta amostra foi feita na área DNPM 806.085/13 890 da Mineração Santo Expedito, na Rodovia BR 230, próximo ao km 591.

Já a região de Floriano/PI, área não onerada, a sequência sedimentar é iniciada por arenitos róseos de granulação bimodal, com estratificação cruzada de grande porte, configurando dunas gigantes com base plana. Intercalam na base níveis de oncólitos no topo arenitos róseos de granulometria fina com esteiras algálicas. No topo, os arenitos de granulação fina são vermelhos e intercalados com argilitos vermelhos. Os arenitos apresentam acamamentos lenticulares, gretas de dissecação, estruturas sigmoides de baixos arenosos e baixos de maré. Esses arenitos róseos de

granulação fina intercalam esteiras algálicas e níveis de estromatólitos. Nessa área, da Formação Pedra do Fogo, foi coletada uma amostra na Serra das Araras, Rodovia BR-343, km 532.

Em União/PI, em área não onerada, são verificados bancos de arenitos róseos, com estratificação cruzada acanalada estão amplamente distribuídos na parte inferior da formação, e indicam o predomínio das deposições subaéreas. Os arenitos róseos são recobertos por folhelhos vermelhos, que intercalam marcas de onda e gretas de ressecamento. Ocorrem na parte central da bacia, e são interpretados como de origem lagunar ou lacustre. A amostragem foi feita na Estrada PI-112, 14 km ao sul de União/PI, e os arenitos finos de geometria sigmoidal mostram que a sedimentação é encerrada com frentes deltaicas que penetram no sistema lacustre (CPRM, 2004).

Em José de Freitas/PI a sedimentação foi iniciada com camadas de arenitos róseos de cor avermelhada e arroxeadas, com grãos foscas, estratificações cruzadas acanaladas, estratificação cruzada de grande escala, com as lâminas em ângulos agudos com a superfície horizontal. As superfícies de acamamento são de base quase horizontal. São interpretadas como deposição de duna eólica, que intercalam estratificações plano-paralelas, que são interpretadas como sedimentação interdunas (CPRM, 2004). Nessa região da Formação Piauí, a amostragem foi realizada na própria cidade de José de Freitas/PI, junto à torre da Telepisa. Este local é uma área de preservação ambiental conhecida como Memorial do Fidié.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A etapa preliminar do estudo compreendeu na análise de trabalhos técnicos, teses e outros relatórios da área apresentados em eventos científicos. Além disso, foram consultadas fontes de informação geológica e do setor mineral como o Serviço Geológico Brasileiro (CPRM) e o Departamento Nacional de Pesquisa Mineral (DNPM) com o intuito de coletar informações sobre os sítios amostrados.

Após essa primeira etapa, uma nova consulta foi direcionada aos órgãos governamentais como o CPRM, o DNPM e a consultores externos, para a localização de ocorrências e/ou jazimentos de areia com gênese diversa e potencialidade de uso no processo de fraturamento hidráulico. No total foram coletadas cinco amostras, sendo duas delas em Carolina/MA. Assim, seguintes pontos foram amostrados (Tabela 1):

Tabela 1. Descrição da localização dos pontos amostrados (Elaboração dos autores)

Ponto amostrado	Coordenada Geográfica
União/PI (arenito)	4°42'23.91"S / 42°49'16.36"W
Floriano/PI (arenito)	6°27'11.74"S / 42°47'54.23"W
José de Freitas/PI (arenito)	4°45'31.48"S / 42°34'27.16"W
Carolina/MA (areia inconsolidada)	7°11'13.37"S / 47°25'23.94"W

A norma ABNT NBR ISO 13503, cujo título geral é “Indústrias do Petróleo e Gás Natural – Fluidos e Materiais de Completação”, foi usada como método na determinação das características pertinentes para a certificação das areias e arenitos como material propante. Esta norma é baseada, com modificações, nas normas do API, como API RP 56, API RP 58 e API RP 60 (ABNT, 2011) e visa a comparação entre diferentes materiais ensaiados para a seleção do mais adequado.

Os equipamentos usados, no presente trabalho, para a determinação das propriedades do material foram: peneirador Rotap; série de peneiras ASTM; balança analítica; picnômetro de vidro; picnômetro a gás hélio Micromeritics, modelo AccuPyc 1330; célula de esmagamento (diâmetro 50,8 mm); prensa FLUXANA (*Vaneox® Technology*) automática de 40 t; quarteador Jones e amostradores diversos; turbidímetro 2100P Hach Company.

A solubilidade em ácido foi realizada segundo norma ABNT específica, na qual a digestão da amostra foi feita em solução 12:3 HCl:HF (p/p). A estimativa visual de esfericidade e arredondamento foi realizada com auxílio do gráfico de *Krumbien/Sloss* e lupa binocular com aumento de 30 vezes (ABNT, 2011).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados contidos na Tabela 2 são referentes à distribuição granulométrica das diversas amostras de areias/arenitos caracterizadas no presente trabalho. Nas tabelas e nas figuras que seguem, CS refere-se à Carolina Superfície, CP à Carolina Profunda (amostra coletada no mesmo ponto de CS em uma profundidade de aproximadamente 50 cm), F à Floriano, JF à José de Freitas e U à União.

Tabela 2. Distribuição granulométrica das amostras de areias/arenitos (Elaboração dos autores)

Peneira (ASTM)	% Retida				
	CS*	CP**	F	JF	U
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,03	0,01	0,02
25	0,86	0,55	0,07	0,08	0,02
30	2,50	2,63	0,07	0,28	0,12
35	10,45	4,99	0,23	0,66	0,37
40	7,92	12,33	0,61	1,01	0,52
45	18,39	13,38	3,13	1,80	1,79
50	17,88	9,82	8,14	5,61	4,92
60	14,26	9,40	17,84	12,32	16,74
70	5,33	5,14	11,08	7,81	10,80
80	7,13	9,85	16,81	9,61	19,94
100	4,65	6,40	8,47	7,81	11,23
120	4,90	11,25	10,73	13,71	14,51
140	3,88	7,30	4,85	13,02	5,96
200	0,00	4,46	4,53	10,42	4,05
-200	1,84	2,50	13,41	15,86	9,01

De posse dessa informação, tem-se o aproveitamento do depósito em função do produto propante para cada uma das amostras (Figura 1). Ressalta-se que, atualmente, os principais produtos utilizados em operações de fraturamento hidráulico são os propantes 20/40 (-20 +40 mesh) e o 40/70 (-40 +70 mesh), portanto, os materiais caracterizados devem corresponder às aos demandados de mercado.

A priori, observa-se que, a partir da análise da granulometria dos materiais amostrados, praticamente todas as amostras possuem bom potencial para a produção do propante 40/70.

Entretanto, os depósitos inconsolidados de Carolina apresentam resultados consideráveis para ambos (20/40 e 40/70). Sendo assim, pode-se inferir que os arenitos teriam um melhor aproveitamento como propante 40/70, e as areias de Carolina seriam exploradas para a produção dos dois produtos.

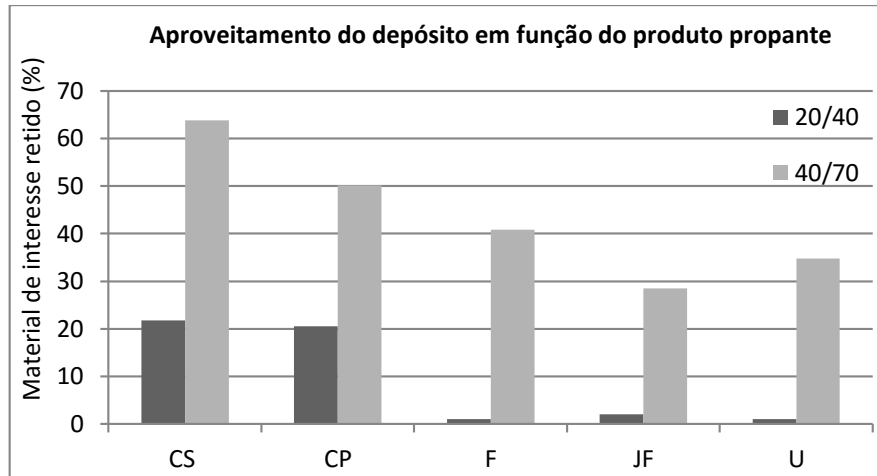


Figura 1 - Aproveitamento do depósito em função dos propantes mais utilizados atualmente (Elaboração dos autores)

A segunda etapa do trabalho consistiu na caracterização das propriedades físicas dos propantes considerando suas distribuições granulométricas (Tabela 3). Assim, os ensaios foram realizados para cada uma das amostras segundo os melhores resultados observados na Figura 1. Os materiais foram preparados nas granulometrias 20/40 e 40/70. Na Tabela 3 são apresentadas as principais propriedades físicas das amostras de propantes preparadas com areias e arenitos.

Tabela 3. Propriedades físicas das amostras de propantes analisadas (Elaboração dos autores)

NORMA ABNT 13503-2	Esfericidade/ Arredondamento	Solubilidade em Ácido (%)	Turbidez (NTU)	Esmagamento (%)
Especificações Máx.	≥0,60 / ≥0,60	3,00	250,00	10,00
CS (20/40)	0,70/0,80	1,4	7,0	20,4
CS (40/70)	0,60/0,80	0,2	7,5	10,8
CP (20/40)	0,70/0,80	1,0	11,0	18,7
CP (40/70)	0,60/0,70	0,1	35,5	7,7
F(40/70)	0,70/0,50	1,9	27,6	16,6
JF (40/70)	0,80/0,30	5,9	28,1	17,6
U (40/70)	0,70/0,40	0,0	18,6	27,9

A amostra de José de Freitas não apresentou resultados satisfatórios em nenhum dos quesitos ensaiados, com exceção da turbidez. Apesar das amostras de Floriano e de União se adequarem às especificações máximas de solubilidade em ácido e turbidez, tem-se que os resultados das demais como esfericidade/arredondamento e esmagamento não respondem as exigências da norma ABNT NBR ISO 13503. Estas duas últimas propriedades não podem se melhoradas através de operações de tratamento, pois são características intrínsecas do material relacionadas às suas gêneses. No entanto as operações de resinagem podem melhorar as propriedades físicas do material, principalmente na resistência ao esmagamento. A Figura 2 mostra um produto propante resinado.



Figura 2 – Material propante resinado (BECKWITH, 2011)

A solubilidade em ácido e a turbidez são, entretanto, características que podem ser melhoradas caso o material seja submetido a um processo de tratamento como atrição, para a retirada de materiais finos (reduzindo a turbidez), e/ou flotação, para retirada de material calcítico e minerais pesados (reduzindo a solubilidade em ácido).

No caso das areias de Carolina/MA, todos os quatro propantes ensaiados apresentaram bons resultados para esfericidade e arredondamento, solubilidade em ácido e turbidez. Entretanto, com relação ao esmagamento, apenas o propante 40/70 de CP respeita a especificação máxima descrita na norma supracitada.

Na Figura 3 são expostas imagens das amostras testadas no que diz respeito à determinação da esfericidade e do arredondamento.

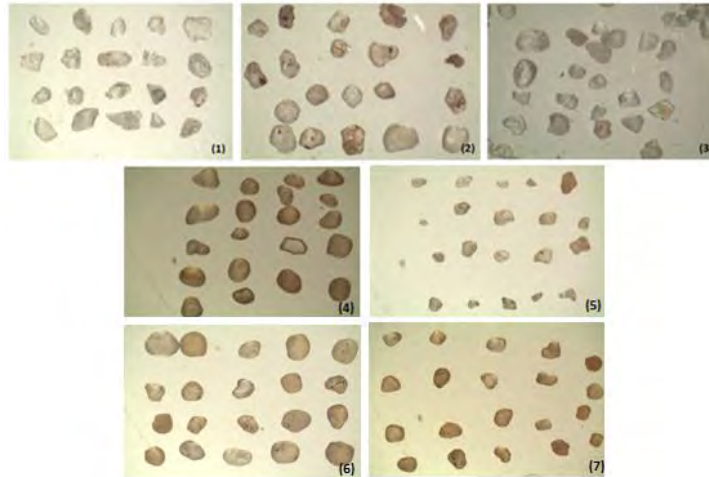


Figura 3 - Foto em lupa binocular (aumento 30 vezes) para averiguação da esfericidade e do arredondamento das amostras. (1) F, (2) JF, (3) U, (4) CS (20/40), (5) CS (40/70), (6) CP (20/40) e (7) CP (40/70) (Elaboração dos autores)

Por fim, as densidades são propriedades importantes na escolha do propante. A densidade *bulk*, por exemplo, é usada na determinação da massa de material propante necessária no preenchimento de uma fratura (ABNT, 2011). Os valores das densidades, em g/cm^3 , para as amostras ensaiadas podem ser verificados na Tabela 4. Não há variação significativa nos resultados de densidade absoluta para areias e arenitos. Porém, para as densidades *bulk* e aparente, de acordo com o tipo de amostra ensaiada, houve uma distinção de valores considerável. Esse fato pode estar relacionado às diferenças de esfericidade e arredondamento das amostras ensaiadas no que tange à sua natureza (areia ou arenito).

Tabela 4. Densidades *bulk*, aparente e absoluta das amostras de propantes analisadas (Elaboração dos autores).

Densidade	CS (20/40)	CS (40/70)	CP (20/40)	CP (40/70)	F (40/70)	JF (40/70)	U (40/70)
Bulk	1,34	1,34	1,32	1,32	1,22	1,22	1,20
Aparente	2,61	2,66	2,68	2,65	2,47	2,88	2,61
Absoluta	2,67	2,67	2,67	2,65	2,67	2,66	2,67

4. CONCLUSÕES

A bacia do Parnaíba é citada em alguns relatórios como área passiva de exploração de areias. Assim, uma boa aplicação seria o uso desses recursos como propantes de fraturamento hidráulico.

No entanto, esses materiais devem seguir as especificações descritas na norma ABNT NBR ISO 13503. Foram coletadas três amostras de arenito em União, José de Freitas e Floriano, e quatro de areias inconsolidadas em Carolina/MA, todas localizadas na bacia do Parnaíba. Elas foram classificadas quanto ao aproveitamento como material propante 20/40 e 40/70, pois estes possuem maior demanda no mercado. Das amostras ensaiadas, tem-se que apenas o propante 40/70 de CP respeita todas as exigências presentes na norma da ABNT, e pode ser usado no fraturamento hidráulico. Houve ainda distinções entre as amostras quanto a densidades *bulk* e a aparente, as quais podem estar relacionadas às diferenças de esfericidade e arredondamento entre areia e arenitos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 13503-2 Indústrias do Petróleo e Gás Natural - Fluidos e Materiais de Completação. Parte 2: Medição das propriedades de propantes usados em operações de fraturamento hidráulico e *gravel-packing*. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

Adolfo Martins de Moraes (Org.). **Diagnósticos e Diretrizes para o Setor Mineral no Estado do Piauí**. Piauí: Empresa de Informática e Processamento de Dados do Piauí – Prodepi, 2004. 170 p. Disponível em: <http://www.cepro.pi.gov.br/download/200804/CEPRO16_6695f7c23c.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2015.

BAPTISTA, Elisabeth Mary de Carvalho. **Estudo morfossedimentar dos recifes de arenito da zona litorânea do estado do Piauí, Brasil**. 2010. 305 f. Tese (Doutorado) - Curso do Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp153856.pdf>>. Acesso em: 30 nov. 2015.

BECKWITH, Robin. **Proppants: Where in the World**. Journal of Petroleum Technology (JPT), 2011. Disponível em: <<http://www.carboceramics.com/getattachment/7710a36c-fe95-4935-a49b-981373e9321f/.aspx>>. Acesso em: 16 fev. 2016.

CACHAY, Leonardo Rodin Salas. **Fluxo de Partículas de Sustentação em Poços de Petróleo Estimulados por Fraturamento Hidráulico**. 2004. 132 f. Dissertação (Mestrado) – Curso do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Geotécnica), PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca_etds.php?strSecao=ocorrencia&nrSeq=6513@1&nrseqoco=18114>. Acesso em: 30 nov. 2015.

SANTOS, Maria Eugênia de Carvalho Marchesini; CARVALHO, Marise Sardenberg de. **Paleontologia das bacias do Parnaíba, Grajaú e São Luís**. Rio de Janeiro: CPRM, 2009. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/pale_cap_apr.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2015.

CARACTERIZAÇÕES MINERALÓGICA E TECNOLÓGICA DO CAULIM DAS REGIÕES DE EQUADOR (RN) E JUNCO DO SERIDÓ (PB)

*Luiz Carlos Bertolino¹, Victor Matheus Joaquim Salgado Campos², Marinésio Pinheiro Lima³,
Odivaldo Cambraia Alves⁴*

¹ Geólogo, D.Sc., Set. de Carac. Tecnológica - SCT, Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/MCTI/UERJ

² Bols. de Iniciação Cient. – PIBIC, Set. de Carac. Tec. - SCT, Centro de Tec. Mineral - CETEM/MCTI/UERJ

³ Eng. de minas, M.Sc., Dep. de Eng. de Minas – DEMINAS, Uni. Fed. de Pernambuco - UFPE

⁴ Físico, D.Sc., Dep. de Físico-Química, Universidade Federal Fluminense - UFF

lcbertolino@cetem.gov.br

RESUMO

Caulim é uma rocha de granulometria fina e composta principalmente por caulinita. É usada nos segmentos de papel, cerâmica e outros. Estudos recentes indicam que o Brasil é o quinto maior produtor mundial de caulim. Porém, alguns depósitos de dimensões relevantes no país, como os das cidades de Equador (RN) e Junco do Seridó (PB) ainda são explorados de forma precária. O objetivo do trabalho consistiu nas caracterizações mineralógica e tecnológica de três amostras de caulim, sendo duas de Equador (RN) e uma de Junco do Seridó (PB), com enfoque no estudo da relação entre o íon ferro (III) e o índice de alvura. As amostras foram submetidas aos processos de classificação granulométrica em peneiras de 44 µm, separação magnética em 14000 Gauss e alveamento químico com ditonito de sódio. A caracterização mineralógica foi realizada através das técnicas de difratometria de raios X, microscopia eletrônica de varredura, fluorescência de raios X e ressonância paramagnética eletrônica. Através dos resultados pode-se verificar que as amostras possuem rendimentos de 61,28, 21,96 e 19,49 % em peneiras de 44 µm, respectivamente, e que são constituídas por caulinita na forma de *booklets* e pelas impurezas muscovita, quartzo e, em um dos casos, feldspato. Verificou-se que a separação magnética e o alveamento químico com ditonito de sódio foram responsáveis pela elevação no índice de alvura de 78,2 para 91,3 % e 91,3 para 93,8 % nas amostras de Equador (RN) e de 86,9 para 89 % na amostra de Junco do Seridó (PB), indicando que é possível melhorar de forma relevante a qualidade do minério promovendo seu melhor aproveitamento.

PALAVRAS-CHAVE: Caulim, caracterização, Nordeste.

ABSTRACT

Kaolin is a fine grained rock composed mainly by kaolinite. It is used in the segments of paper, ceramic and others. Recent studies indicate that Brazil is the fifth major world producer of kaolin. However, some deposits with great dimensions in the country, as of the cities of Equador (RN) and Junco do Seridó (PB) which are exploited precariously. The purpose of the study was the technological and mineralogical characterization of three samples of kaolin, two of them of Equador (RN) and the last one of Junco do Seridó (PB), focusing in the study of the relationship between the iron (III) and the index of whiteness. The samples are submitted to the processes of granulometric classification in sieves of 44 μm , magnetic separation in 14000 Gauss and chemical bleaching with sodium dithionite. The mineralogical characterization was made by the analysis of X-ray diffractometric, scanning electron microscope, X-ray fluorescence and electron paramagnetic resonance. From the results it can be seen that the samples have yield of 61.28, 21.96 e 19.49 % in sieves of 44 μm , respectively, and are composed by kaolinite in booklets form and by the impurities muscovite, quartz and, in one of the cases, by feldspar, It was found that through of the process of magnetic separation and chemical bleaching with sodium dithionite was possible raise of index of whiteness of 78.2 to 91.3 % and 91.3 to 93.8 % in the samples of Equador (RN) and of 86.9 to 89 % in the sample of Junco do Seridó (PB), indicating that it is possible improve relevantly the quality of the ore promoting its better improvement.

KEYWORDS: Kaolin, characterization, Northeast.

1. INTRODUÇÃO

Caulim é a rocha composta por caulinita e/ou seus polimorfos, apresenta granulometria fina e também coloração esbranquiçada (Murray e Keller, 1993). O caulim pode ser classificado como do tipo primário, quando produto de alteração de feldspatos, e do tipo secundário, quando de origem sedimentar (Prasad *et al.*, 1991). O caulim da área de estudo é do tipo primário (Silva, 2007), o que reflete em granulometria mais grossa do que os do tipo secundário, impurezas compostas pelos minerais quartzo, muscovita e feldspato e, também, em baixo conteúdo de óxidos e/ou hidróxidos de ferro. O caulim é usado em diversas partes da indústria, sendo os principais segmentos os de produção de papel, tinta e cerâmica (Luz *et al.*, 2005). Porém, a extração de caulim ocorre de forma rudimentar em algumas regiões do país, como nos depósitos das cidades de Junco do Seridó (PB) e de Equador (RN).

Silva (2007) realizou a caracterização tecnológica e mineralógica do caulim da região de Junco do Seridó (PB), onde foi definido que o caulim é caulínico, apresenta as impurezas de quartzo, muscovita e feldspato e que a alvura do material pode ser elevada mediante separação magnética em campo de alta intensidade e alveamento químico, originando um material de melhor qualidade.

2. OBJETIVOS

O estudo teve como objetivo a realização das caracterizações mineralógica e tecnológica de três amostras de caulim com enfoque no estudo da distribuição do íon ferro (III) e de sua remoção visando a melhoria de qualidade do minério.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram coletadas três amostras de caulim de aproximadamente 17 kg cada, sendo duas das proximidades da cidade de Equador (RN) e uma da cidade de Junco do Seridó (PB), nomeadas de, respectivamente, GB1, GB2 e JS (Figura 1). As coordenadas UTM de coleta dessas amostras são, respectivamente, 754364E 9231863N, 754353E 9231943N e 750498E 9225368N, onde a Zona UTM é 24 M e o DATUM utilizado é o SIRGAS 2000.

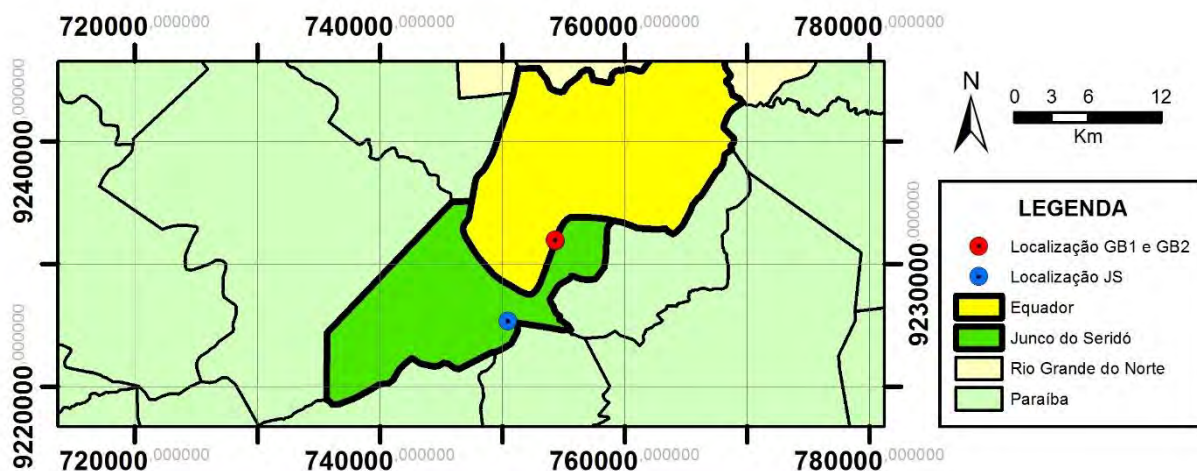


Figura 1 - Locais de coleta das amostras GB2, GB1 e JS.

Nos laboratórios do CETEM, as amostras foram secas, homogêneas e quarteadas antes de serem submetidas aos processos de classificação granulométrica a úmido em peneiras de 44 μm e separação magnética em equipamento BOXMAG-RAPID (14000 Gauss). As frações < 44 μm não magnéticas foram submetidas ao alvejamento químico com uso de ditonito de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) como agente redutor na proporção de 4 kg/t e hexametáfosfato de sódio ($\text{Na}_{16}\text{P}_{14}\text{O}_{43}$) como agente dispersante na proporção de 3 kg/t. Foi produzida uma polpa com 80 % de água e 20 % de sólido, que foi mantida em agitação entre 80 a 100 rpm e com pH entre 3 e 4 com adição de ácido sulfúrico.

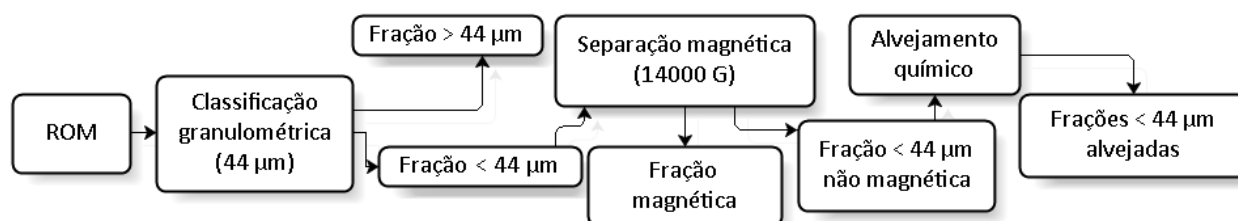


Figura 2 - Fluxograma das etapas de beneficiamento das amostras

As frações obtidas no processo de beneficiamento foram caracterizadas através do difratômetro de raios X da Bruker modelo D4 Endeavor com radiação $\text{Co K}\alpha$ (40kV/40 mA), análise química por fluorescência de raios X em aparelho da PANalytical modelo Axios mAX, análise

granulométrica no Malvern modelo Mastersize 2000, ressonância paramagnética eletrônica em aparelhamento Bruker modelo ESP300E com banda X (frequência 9,75 GHz), microscópio eletrônico de varredura modelo FEI Quanta 400 da Bruker. O índice de alvura foi determinado em fotômetro Carl-Zeiss Elrepho modelo 96160 em padrão de 83,9 % (ISO).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Classificação granulométrica e separação magnética

Os processos classificação granulométrica indicaram que as amostras GB2, GB1 e JS possuem, respectivamente, rendimentos de 19,49, 21,96 e 61,28 % de material < 44 μm (Tabela 1). Os resultados da separação magnética mostraram que todas as amostras possuem menos de 1 % de fração magnética, indicando baixa presença desse material em todos os depósitos.

Tabela 1 - Balanço de massa após a classificação granulométrica e separação magnética. FM – Fração magnética

Amostra	GB2 (%)	GB1 (%)	JS (%)
> 44 μm	80,51	78,04	38,72
< 44 μm	19,49	21,96	61,28
< 44 μm c/ FM	19,49	21,96	61,28
< 44 μm s/ FM	19,42	21,91	61,22
Fração magnética	0,06	0,53	0,05

4.2 Ressonância Paramagnética Eletrônica

Através de espectros de ressonância paramagnética eletrônica (Figura 3) observou-se que o íon ferro (III) se encontra distribuído em dois sítios, externo na forma de óxidos e/ou hidróxidos ($g \cong 2,0$) e na estrutura da caulinita em sítios octaedrais ($g \cong 4,2$) substituindo o íon alumínio (III) (Komusinski *et al.*, 1981). Os resultados indicaram que parte do íon ferro (III) externo é removido durante o processo de separação magnética (14000 Gauss). Já o íon ferro (III) interno não é extraído durante o tratamento.

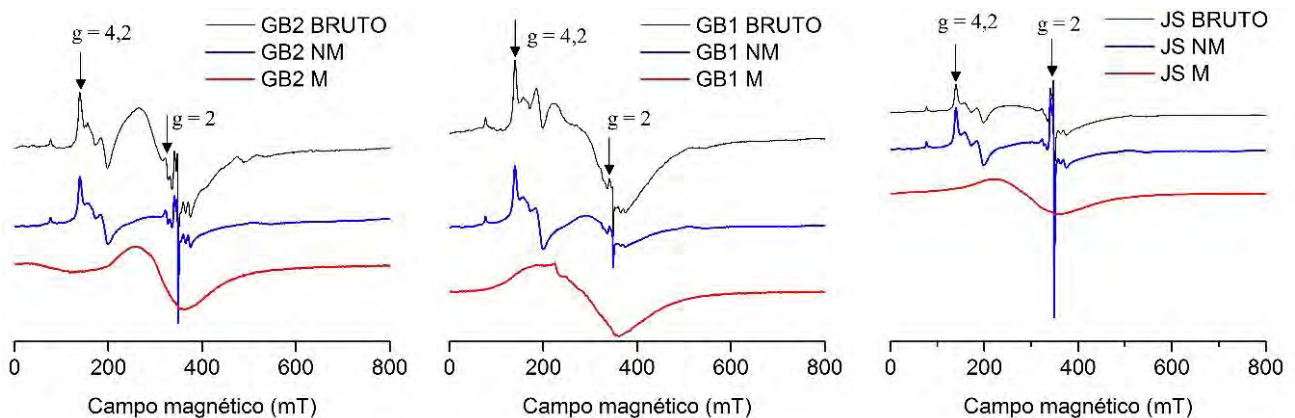


Figura 3 - Espectros de RPE das amostras de caulim. NM – Não magnético M - Magnético

4.3 Difractometria de raios X e índice de Hinckler

Os resultados da difratometria de raios X indicaram que as frações GB2, GB1 e JS < 44 μm não magnéticas são constituídas por caulinita e, secundariamente, por quartzo, muscovita e, no caso da amostra GB2, por feldspato (Figura 4). A presença do feldspato indica que o processo de caulinização não foi completo no depósito da amostra GB2.

Os índices de Hinckler obtidos da caulinita das amostras GB2, GB1 e JS foram 1,25, 1,29 e 1,35, respectivamente. Através desses valores foi possível afirmar que a caulinita apresenta elevado grau de ordenamento estrutural, o que permite inferir que há pouca quantidade de íon ferro (III) na estrutura da caulinita, fato que é corroborado pelos resultados de ressonância paramagnética eletrônica (Figura 3), em que os picos referentes à presença de ferro (III) estrutural na região $g \cong 4,2$ não são muito intensos, principalmente na amostra JS, que apresentou maior índice de Hinckler.

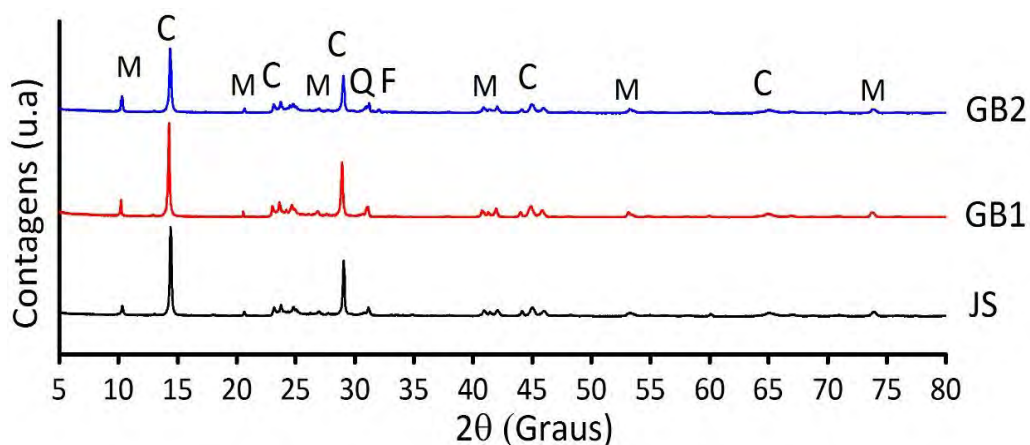


Figura 4 - Difratomogramas de raios X das frações < 44 μm não magnéticas das amostras GB2, GB1 e JS.

M - Muscovita Q - Quartzo C – Caulinita F - Feldspato.

4.4 Microscopia eletrônica de varredura

As imagens obtidas através do MEV indicaram que as frações < 44 μm não magnéticas são compostas majoritariamente por *booklets* de caulinita em forma pseudo-hexagonal (Figura 5). Também foram observados grãos de quartzo e muscovita dispersos ainda presentes nas amostras mesmo após a classificação granulométrica em 44 μm .

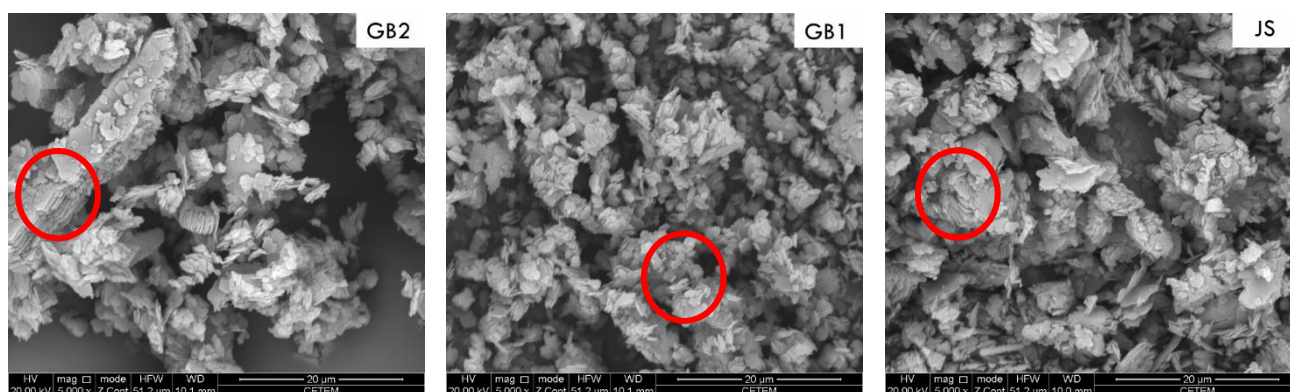


Figura 5. Imagens das frações menores que 44 μm não magnéticas obtidas através do MEV. As imagens foram registradas em aumento de, aproximadamente, 5000 x.

4.5 Análise química por fluorescência de raios X

As frações <44 μm não magnéticas das amostras GB2, GB1 e JS apresentaram, respectivamente, teores de SiO_2 , Al_2O_3 e perda ao fogo variando entre 44,5 e 46,3, 41,5 e 42,6 e 10,4 e 11,5 % (Tabela 3). De acordo com Dana (1974), a composição química teórica da caulinita é 39,5 % de Al_2O_3 , 46,5 % de SiO_2 , 14 % de H_2O e todas as amostras apresentaram teores de óxidos dentro ou próximos dessa faixa indicando que as amostras, após a classificação granulométrica em 44 μm , são essencialmente compostas por caulinita.

Os teores de Fe_2O_3 das amostras não sofreram alterações relevantes após a separação magnética, o que é resultado das hipóteses de a separação magnética não ser um método eficiente na diminuição desse óxido ou do equipamento não ter a capacidade de determinar a variação do óxido de forma efetiva.

Tabela 2 - Resultados da análise química por fluorescência de raios X das frações obtidas nos processos de beneficiamento. B – Bruto; N – Não magnético

Óxidos	GB2 B (%)	GB2 NM (%)	GB1 B (%)	GB1 NM (%)	JS B (%)	JS NM (%)
SiO_2	46,3	46,3	45,3	45,1	44,5	44,6
Al_2O_3	41,5	41,5	42,5	42,5	42,6	42,4
PF	10,4	10,4	11,5	11,7	11,3	11,3
Fe_2O_3	0,44	0,42	0,37	0,37	0,26	0,27
Outros	1,27	1,31	0,53	0,51	1,2	1,22
Total	99,91	99,93	100,2	100,18	99,86	99,79

4.6 Alveamento químico e determinação do índice de alvura

Os resultados do processo de alveamento químico feitos nas frações < 44 μm não magnéticas da amostra GB2 indicaram elevação no índice de alvura de 78,2 % para 78,5 % após a separação magnética e que houve aumento de 78,5 % para 90,9 % nos primeiros 30 minutos de alveamento químico.

Já os resultados em relação as frações GB1 foram diferentes por conta de o índice de alvura da fração inicial já ser elevado. Após a separação magnética verificou-se pequeno aumento de 91,3 % para 92,5 % no índice de alvura. Porém, a maior evolução também ocorreu nos primeiros 30 minutos de alveamento químico, onde o índice de alvura foi elevado de 92,5 % para 93,8 %.

A evolução do índice das frações JS indica não alteração nos valores após a separação magnética e maior elevação durante os 30 primeiros minutos de alveamento químico de 86,9 % para 88,4 %.

Os resultados do índice de alvura indicaram que a etapa de separação magnética pode não ser tão eficiente em relação ao seu custo/benefício e que os 30 minutos iniciais em processo de alveamento químico são os mais relevantes no aumento de alvura do caulim.

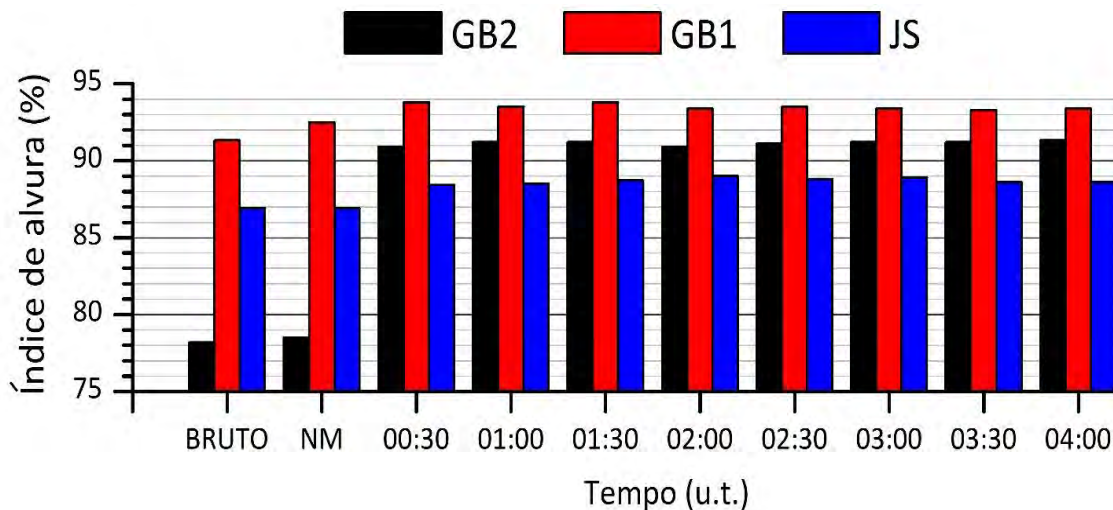


Figura 6 - Valores obtidos na determinação do índice de alvura para as frações < 44 μm não magnéticas das amostras JS, GB1 e GB2. NM – Não magnético.

5. CONCLUSÕES

Verificou-se que a amostra JS apresentou o melhor rendimento de 67,46 % de material menor que 44 μm . Já as amostras GB1 e GB2 mostraram baixo rendimento de cerca de 21,96 % e 19,49 %, respectivamente. Tais valores destacam a natureza primária do caulim, onde se tem alta quantidade de impurezas. Entretanto, pode-se confirmar que ocorrem também depósitos de alto teor de minério e também que é possível, com as técnicas de beneficiamento adequadas, concentrar o material de importância econômica. A caracterização mineralógica indicou que as três amostras de caulim são constituídas por caulinita e, de forma secundária, por quartzo, muscovita e, no caso da amostra GB2, por feldspato.

Através da análise de ressonância paramagnética eletrônica foi possível verificar que parte do íon Ferro (III) na forma de óxido e/ou hidróxido de ferro pode ser removido através de separação magnética (14000 Gauss), o que promove pequeno ou nenhum aumento de alvura do

material. Essa dicotomia mostra a necessidade de estudos mais aprofundados sobre a efetividade da operação no tratamento do minério.

A técnica de alvejamento químico foi responsável por aumento considerável no índice de alvura de todas as amostras nos primeiros 30 minutos de tratamento. Tal fato reflete a necessidade de se verificar se o tratamento com 4 horas de duração, como é feito em algumas indústrias, é realmente a melhor metodologia de tratamento em relação ao seu custo/benefício. Visto isso, entende-se que os resultados trazem novas discussões sobre a qualidade do beneficiamento de caulim no Brasil, sendo esse feito em grande escala por parte de algumas empresas nacionais.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CETEM, aos técnicos da SCT-COAM, à CATE/CETEM, ao CNPq e à FAPERJ pelo auxílio e ao CBPF pelo uso do Laboratório de Ressonância Paramagnética Eletrônica.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DANA, J. D. S. Mineralogia descritiva. In: DANA, J. D. S. Manual de Mineralogia, 1 ed, v. 02, Rio de Janeiro, Brasil: Livros Técnicos e Científicos, 1976, p.506-507.

KOMUSINSKI, J.; STOCH, L.; DUBIEL, S. M. Application of electron paramagnetic resonance and Mössbauer spectroscopy in the investigation of kaolinite-group minerals. *Clays and clay Minerals*, v.29, p.23-30, 1981.

LUZ, A. B., CAMPOS, A. R., CARVALHO, E. A., BERTOLINO, L. C. Caulim - Usos e Especificações. In: LUZ A. B. e LINS F. F (eds) Rochas e Minerais Industriais. 2ª ed. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Centro de Tecnologia Mineral, 2005, p. 255-289.

MURRAY, H.H., KELLER, W., 1993. Kaolins, kaolins, and kaolins. In: Murray, H., Bundy, W., Harvey, C. (Eds.), *Kaolin Genesis and Utilization*. The Clay Minerals Society, Boulder, pp. 1–24.

PRASAD, M. S., REID, K. J., MURRAY, H. H., 1991, "Kaolin: processing, properties and application", *Applied Clay Science*, v. 06, pp. 87-119.

SILVA, F. A. N. G. Estudos de Caracterização Tecnológica e Beneficiamento do Caulim da Região Borborema-Seridó (RN). 2007. Dissertação (Mestrado) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (Brasil).

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE FELDSPATOS PEGMATÍTICOS USADOS COMO FUNDENTE

Ailma R.S. Medeiros¹ Lígia M. Gonzaga² Denilda J.S.Ferreira³ Rafael C. Silva⁴

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), Professora, Coordenação de Mineração/Campus Picuí.

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), Professora, Coordenação de Mineração/Campus Parelhas.

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), Aluna, Coordenação de Mineração/Campus Picuí

⁴Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), Técnico de Laboratório, Coordenação de Mineração/Campus Picuí.

e-mail: ailma.engminas@gmail.com

RESUMO

O aproveitamento industrial dos pegmatitos do Seridó Paraibano se dá em função da elevada concentração de feldspato potássico e sódico com elevado grau de pureza e abundância. Na indústria ceramista os feldspatos são utilizados como fundentes para obtenção de porcelanatos, vidro e esmalte, louça sanitária, isolante elétrico, etc. Neste contexto o trabalho tem como objetivo fazer uma caracterização comparativa entre diferentes amostras de feldspatos, representativos daqueles extraídos na Província Pegmatítica da Borborema Seridó da Paraíba e comercializados para a indústria cerâmica. Para tanto, foram selecionadas quatro amostras de feldspatos coletadas em diferentes lavras pertencentes à Mineração Florentino no município de Pedra Lavrada/PB. As amostras foram caracterizadas quanto à distribuição granulométrica, análise da composição mineralógica por difração de raios X, composição química por fluorescência de raios X, por análise termogravimétrica e análise térmica diferencial e propriedades térmicas por cones de fusão. Os resultados obtidos mostraram as diferenças entre os feldspatos, em termos de distribuição granulométrica e formação de fases vítreas durante a queima, o que pode ser associado à variação na composição química dos constituintes mineralógicos.

PALAVRAS-CHAVE: caracterização, feldspato e fundente.

ABSTRACT

The Seridó Paraíba Pegmatites processing occurs due to the high concentration of potassium and sodium feldspar with high purity and abundance. Feldspar are used in the ceramics industry as melt for obtaining porcelain, glass and enamel, sanitary ware, electrical insulation, etc. The aim of this work is a characterization between different types of feldspar, representative of those extracted in the Borborema Seridó Pegmatite Province of Paraíba and commercialized for the ceramics industry. Four samples feldspars were selected from different mines belonging to Mineração Florentino in the municipality of Pedra Lavrada/PB. The samples were characterized for particle size distribution analysis of mineralogical composition by X-ray diffraction, X-ray fluorescence, thermogravimetric and differential thermal analysis and pyrometric cone test. The results showed differences among feldspars, in terms of size distribution and training glass phase during firing, which can be associated with variation in the chemical composition of the mineralogical constituents.

KEYWORDS: characterization, feldspar, melting.

1. INTRODUÇÃO

Usualmente o termo Feldspato é empregado para denominar um grupo de minerais constituídos de aluminossilicatos de potássio, sódio e cálcio. Os principais depósitos de feldspato ocorrem em rochas cristalinas, sobretudo pegmatitos. Os pegmatitos da região do Seridó Paraibano formam grandes cristais de feldspato com elevado grau de pureza e muita abundância (COSTA, *et al*, 2015).

Os feldspatos são utilizados, principalmente como fundentes de substâncias refratárias na indústria cerâmica (LEGLER, *et al.*, 2009, PICCOLI, 2003). Durante o processo de queima os feldspatos sódico e potássico apresentam comportamentos distintos. O feldspato sódico é caracterizado por apresentar baixo ponto de fusão, 1170 °C, bem como retração e fusibilidade dependentes da temperatura (OLIVEIRA, 2012). A massa fundida do feldspato sódico tem viscosidade mais baixa. O feldspato potássico possui um ponto de fusão mais elevado, 1500 °C, e seu comportamento cerâmico se dá de forma mais progressiva (LUZ e LINS, 2008).

O objetivo deste trabalho foi coletar e caracterizar diferentes amostras de feldspatos, representativos extraídos na Província Pegmatítica da Borborema Seridó da Paraíba e comercializados para a indústria cerâmica, a partir da composição química, mineralógica, e propriedades térmicas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado utilizando-se de quatro amostras de feldspatos, codificadas como amostras 1, 2, 3 e 4 coletadas em diferentes lavras pertencentes à Mineração Florentino, todas no município de Pedra Lavrada – PB. As amostras foram moídas a seco a uma granulometria abaixo de 74 μm , em um moinho de bolas modelo CT 242/1 da *Servitech*, com capacidade de realizar a moagem, ao mesmo tempo com duas jarras. Para tanto, utilizou-se esferas moedoras de alumina (>92% de Al_2O_3) de dois diâmetros distintos: 18 e 12 mm, durante 25 minutos.

2.1 Distribuição granulométrica

A análise granulométrica para as amostras foram realizadas em um analisador de tamanho de partículas por difração laser da marca MALVERN, modelo Mastersizer 2000, via úmida, utilizando água destilada. Os ensaios foram feitos em triplicata e os resultados representados por meio da média dos valores.

2.2 Difração de raios X (DRX)

Para obtenção dos difratogramas das amostras foi utilizado o método do pó. O equipamento utilizado foi um Difratorômetro Siemens modelo D5005 operando com uma voltagem de 30 kV e corrente de 10 mA, com radiação de $\text{Cu-K}\alpha_1 = 1.54180 \text{ \AA}$ em intervalo de $4^\circ \leq 2\theta \leq 70^\circ$, em modo contínuo, a $1^\circ/\text{min}$.

2.3 Fluorescência de raios X (EDX)

As amostras estudadas foram caracterizadas quanto à composição química por fluorescência de raios X em um equipamento SHIMADZU XRS 1800.

2.4 Análise termogravimétrica (TG) e termodiferencial (ATD)

As análises termodiferencial (ATD) e termogravimétrica (ATG) foram realizadas no equipamento Shimadzu DTG-60H. As amostras foram aquecidas até uma temperatura de 1100 °C. Para análise termodiferencial foi utilizada como referência a alumina calcinada. Para evitar à interferência de gases presentes no ambiente a análise foi realizada em atmosfera inerte de N₂ (50 ml/min). A taxa de aquecimento foi de 10° C/min.

2.5 Propriedades Térmicas

Os cones de fusão das amostras foram conformados e queimados de acordo com a metodologia padrão utilizada pelos principais fabricantes de grês porcelanato. Inicialmente, as amostras foram moídas à fração abaixo de 100 µm. Após a moagem, os cones foram moldados manualmente em uma forma cônica feita de resina e de PVC, confeccionada na própria empresa. Colocados em base refratária de porcelana, os cones foram levados à queima a 1250 °C em um Forno Jung, modelo LF 00613, com taxa de aquecimento de 20,8 °C/min, permanecendo no patamar máximo por 60 minutos. O resfriamento foi livre.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

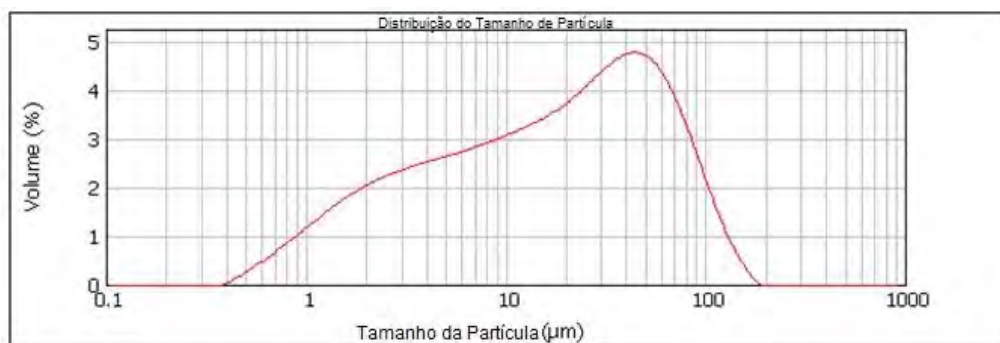
3.1 Análise granulométrica

Os dados da Tabela 1 mostram as características granulométricas das amostras 1, 2, 3 e 4. Observa-se que as amostras 1, 2 e 4 apresentam D₉₀ entre 70-80 µm. Assim sendo, sob as mesmas condições de moagem, sofreram reduções equivalentes. Por outro lado, a amostra 3 registra o maior D₉₀ = 98,9 µm.

Os gráficos de distribuição granulométrica apresentam uma distribuição de tamanho de partículas heterogênea para todas as amostras estudadas, ou seja, há uma grande variação no tamanho das partículas dentro da mesma amostra. Como exemplo, da amostra 1 mostrada no gráfico que tem o d₅₀=17,5 µm e o d₉₀=72,7 µm.

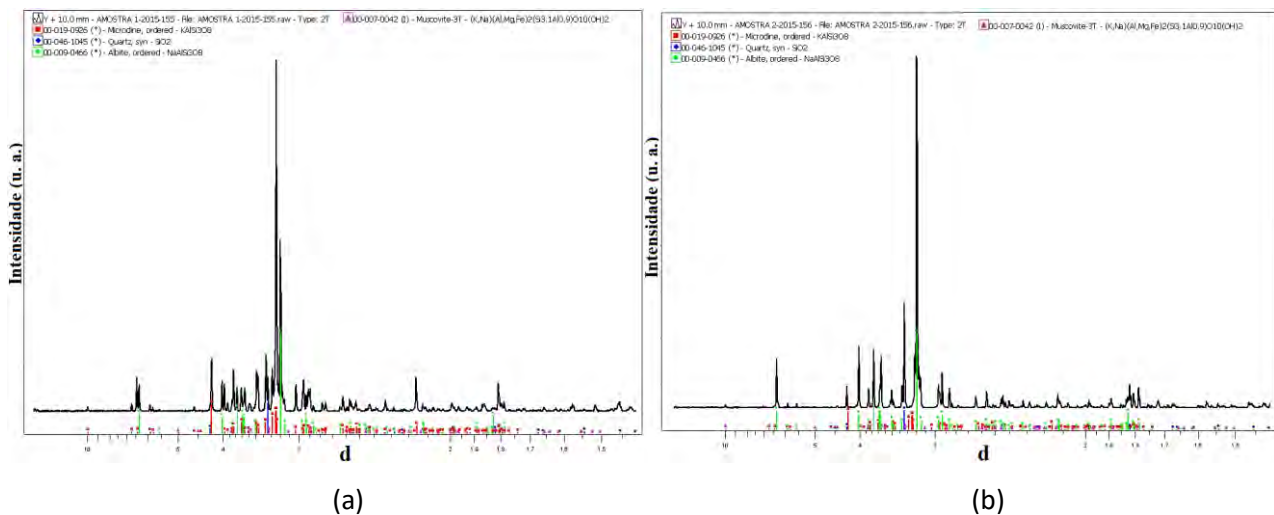
Tabela 1. Características granulométricas das amostras de feldspato.

Amostra	D ₉₀ (μm)
1	72,7
2	72,7
3	98,9
4	80,5

Figura 1: Gráfico da distribuição de tamanho da amostra 1 ($d_{90} = 72,7 \mu\text{m}$).

3.2 Difractometria de raios-X

Os resultados da difração de raios X das amostras 1, 2, 3 e 4, estão apresentados nas Figuras 2(a), 2(b), 2(c) e 2(d), respectivamente. A análise dos difratogramas mostra similaridade entre os perfis, em relação à distância d dos planos atômicos das fases, ou seja, as amostras possuem composição mineralógica similar, caracterizadas por duas fases de feldspatos, microclínio e albita, e outros minerais tipicamente silicáticos, como: quartzo e muscovita.



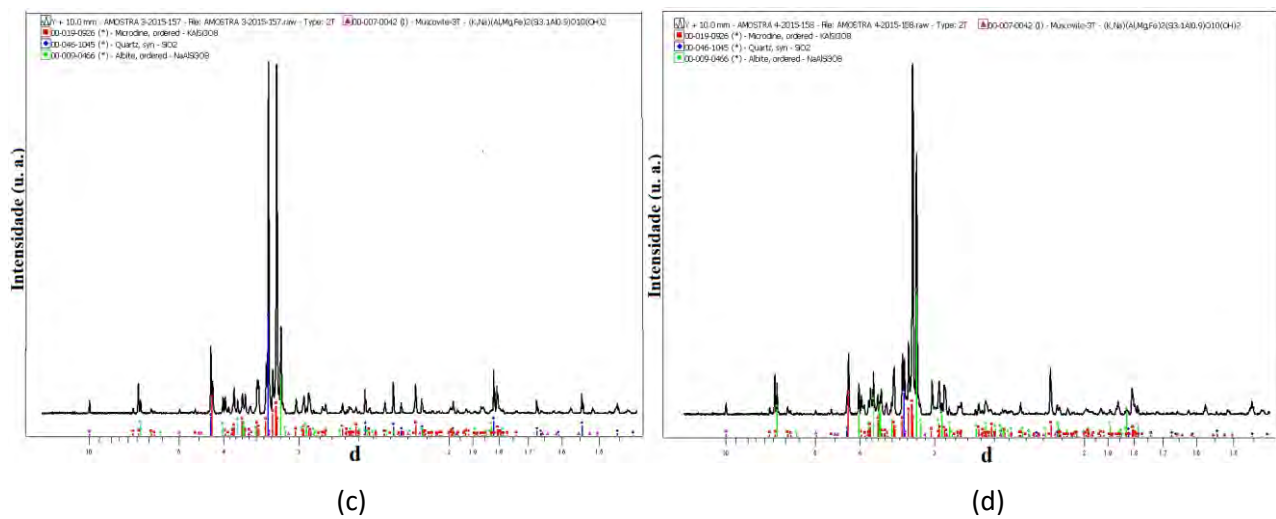


Figura 2: Difratogramas: (a) amostra 1, (b) amostra 2, (c) amostra 3 e (d) amostra 4.

3.3 Fluorescência de raios X

A Tabela 2 mostra os dados de EDX das amostras 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Observa-se que os resultados da análise semiquantitativa para as amostras 1, 2 e 4 apresentaram valores de SiO_2 em torno 64% e 68%, com destaque para a amostra 3 com aproximadamente 72% de SiO_2 . Tais dados, confirmaram os resultados da difração de raios X, que caracteriza as amostras com fases predominantemente silicáticas. Os teores de K_2O e Na_2O para as amostras 1, 3 e 4 registraram valores aproximados entre 8% e 9% e entre 2% e 4%, respectivamente, em contrapartida a amostra 2 mostra-se com teor abaixo de 1% de K_2O e de 11% de Na_2O , o que pode estar associado, em termos de composição mineralógica, a uma maior quantidade do feldspato sódico, albita, em relação ao feldspato potássico, microclínio.

Tabela 2 . Composição química das amostras analisadas (%).

Óxido	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03	Amostra 04
SiO_2	64,6	67,5	71,6	64,6
Al_2O_3	21,1	20,4	17,1	21,3
K_2O	9,2	0,31	8,1	9,3
Na_2O	3,8	11,0	2,4	3,7
CaO	< 0,1	0,14	0,15	< 0,1
MgO	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

3.4 Análise termogravimétrica e termodiferencial

Os resultados das análises, termogravimétrica (TG) e termodiferencial (DTA), para as amostras 1, 2, 3 e 4, são mostrados nas Figuras 3(a), 3(b), 3(c) e 3(d), respectivamente. Praticamente, todas as amostras apresentaram perda de massa gradual e pouco significativa, inferior a 0,5%.

O perfil termogravimétrico das amostras 1 e 2, Figuras 3(a) e 3(b), respectivamente, a partir de, aproximadamente 740°C e 900°C registram, por processo endotérmico à desidroxilação, seguida de recristalização da muscovita (MENEZES, *et al.*, 2007).

O termograma da amostra 3, Figura 3(c), mostra uma pequena distorção endotérmica, próximo a 572°C que, provavelmente, está associada a transição do quartzo α para quartzo β (ALBUQUERQUE, *et al.*, 2007; LENGLER, *et al.*, 2009; MENEZES, *et al.*, 2007). As inflexões na curva ATD entre 950°C e 1050°C para as amostras 3 e 4, Figuras 3(c) e 3(d), não são evidenciadas transições, entretanto, cabe ressaltar que, teoricamente, o feldspato começa o processo de fusão, próximo deste intervalo de temperaturas (ALBUQUERQUE, *et al.*, 2007).

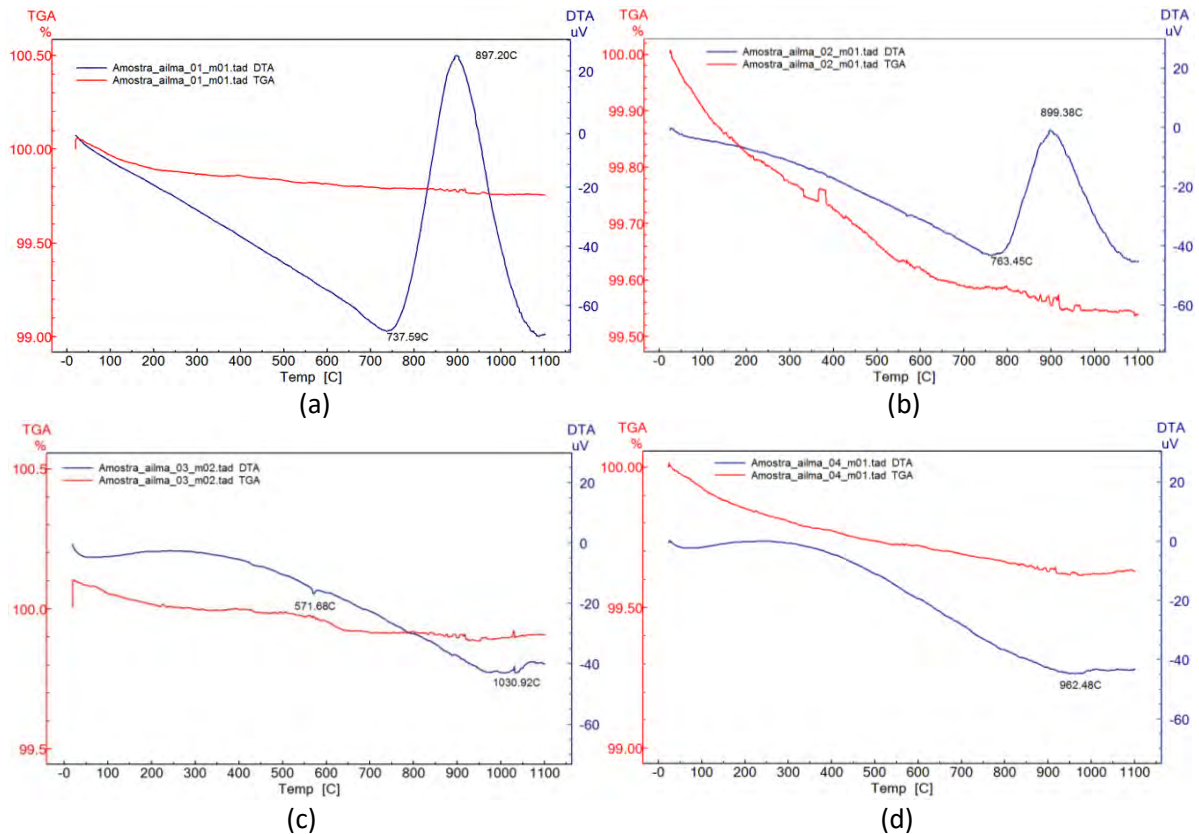


Figura 3: Termogramas: (a) amostra 1, (b) amostra 2, (c) amostra 3 e (d) amostra 4.

3.5 Cones de Fusão

A imagem da Figura 4 mostra o aspecto visual, lateral e topo, respectivamente, das amostras 1, 2, 3 e 4 após o ensaio por cone de fusão. Os resultados mostraram que embora os materiais sob estudo possuam as mesmas fases mineralógicas, confirmadas por difração de raios X, apresentaram comportamentos distintos quando submetidas ao ensaio cerâmico. Tal resultado sugere que a variação dos teores de feldspato potássico e feldspato sódico, confirmados pela fluorescência de raios X, são fatores determinantes para eficiência no processo de fundição na indústria cerâmica (LEGLER, *et al.*, 2009).

As amostra 1 e 4, de brilho vítreo e opaco, respectivamente, apresentaram uma ótima fusibilidade, com a superfície isenta de viscosidade. Não ocorreram mudanças no formato cônico, característica comum a amostras com teor elevado de K_2O . A amostra 2, de coloração clara e brilho vítreo, exibe achatamento do formato cônico, entretanto, sem distorções de eixo. Tal resultado sugere que amostras com teor mais elevado de Na_2O , apresentam baixa fusibilidade, característica importante ao processo em estudo.

A amostra 3 de coloração branca e pouco brilhosa, apresenta pouca fusibilidade, devido a formação de uma superfície viscosa, associada a um teor elevado de SiO_2 , que pode atuar como substância refratária.



Figura 4: Foto lateral e de topo dos cones de fusão após ensaio.

4. CONCLUSÃO

A distribuição granulométrica apresentou-se heterogênea para todas as amostras estudadas. Foi possível observar que sob as mesmas condições de moagem as amostras 1, 2 e 4 sofreram reduções equivalentes, com D_{90} entre 70-80 μm , enquanto que a amostra 3 foi a que apresentou um maior D_{90} de aproximadamente 99 μm .

Os resultados obtidos por difração de raios X das amostras 1, 2, 3 e 4 mostrou características cristalográficas e de associações minerais semelhantes das seguintes fases: quartzo, albita, microclínio e muscovita.

Os dados da fluorescência de raios X confirmaram os resultados da difração de raios X que mostrou que as amostras 1, 3 e 4 caracterizaram-se por apresentar elevado teor de K_2O , associado ao feldspato potássico, microclínio, e a amostra 2 apresentou teor de 11% Na_2O , associado ao feldspato sódico, albita.

Os resultados das análises termogravimétrica e térmica diferencial revelaram que todas as amostras apresentaram perdas de massa pouco significativas, inferiores a 0,5%. Além do mais, não foram registradas transições relacionadas às fases de feldspato presentes nas amostras.

O ensaio de cones de fusão mostrou que a baixa fusibilidade da amostra 2, está diretamente associada a presença, predominantemente, do feldspato sódico, albita. Em assim sendo, a utilização de feldspato sódico como fundente da indústria cerâmica sugere maior eficiência no aproveitamento de calor em relação ao feldspato potássico.

5. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, F. R.; SANTOS, I. M. G.; LIMA, S. J. G.; CÁSSIA-SANTOS, M. R.; SOLEDADE, L. E. B.; SOUZA, A. G.; MARTINELLI, A. E. **Planejamento experimental aplicado à otimização de massa cerâmicas contendo matérias primas naturais**. *Revista Cerâmica*, 53, P. 300-308, 2007.

COSTA, W. C.; SOUZA, M. C.; SOUZA, M. M.; FERNANDES, D. M.; NÓBREGA, L. F. P. M. **Caracterização física de resíduos de pegmatitos para a utilização como matéria-prima na produção de cerâmica branca**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC', Fortaleza – CE, 2015.

LEGLER, H. C. M.; VICENZI, J.; BERGMANN, C. P. **Caracterização Comparativa de Fundentes para Emprego na Indústria Cerâmica**. *Cerâmica Industrial*, 2009.

LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. **Rochas & Minerais Industriais**. 2. Ed. - Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008.

MENEZES, R. R.; ALMEIDA, R. R.; SANTANA, L. N.; NEVES, L.,; G. A. LIRA, H. L.; FERREIRA, H. C. **Análise da co-utilização do resíduo do beneficiamento do caulim e serragem de granito para produção de blocos e telhas cerâmicos.** *Revista Cerâmica*, 53, P. 192-199, 2007.

OLIVEIRA, C. F. **Influência do Teor de Feldspato Espodumênio e Albita na Sinterização de Uma Massa Cerâmica Triaxial.** São João del-Rei, UFSJ, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2012.

PICCOLI, R. **Formulação, preparação e caracterização de massas porcelânicas baseadas em diopsídio natural.** Florianópolis, UFSC, Programa de Pós- Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, 2003.

ANÁLISE DA DECOMPOSIÇÃO TÉRMICA DA GIPSITA JOHNSON PROCESSADA EM MOINHO PLANETÁRIO DE BOLAS

Alan Anderson de Arruda Tino¹, Marcelo Francisco Gomes², Pedro Luiz Guzzo³, Reiner Neumann⁴

¹ Mestrando em Eng. Mineral, Departamento de Engenharia de Minas, UFPE

² Técnico, Departamento de Engenharia de Minas, UFPE

³ Professor Associado, Departamento de Engenharia de Minas, UFPE

⁴ Pesquisador Titular, Centro de Tecnologia Mineral, Pós-graduação em Geociências, Museu Nacional-UFRJ

Alan-tino@hotmail.com

RESUMO

O processamento da gipsita em moinhos de alta energia é geralmente acompanhado por modificações estruturais e intensa aglomeração de partículas ultrafinas. O objetivo deste trabalho foi acompanhar o efeito da moagem ultrafina nas propriedades térmicas da gipsita Johnson processada em moinho planetário de bolas. Para isso, alíquotas de 40 ml na faixa 417 x 833 μm foram cominuídas entre 1 e 960 min a 300 rpm. As distribuições granulométricas mostraram que o limite de moagem é atingido após 30 min ($d_{50} = 12 \pm 0,6 \mu\text{m}$); ocorrendo aglomeração para maiores tempos de moagem. Os aglomerados são constituídos de partículas finas que cobrem partículas de maior granulometria. Em relação à alimentação, a temperatura de desidratação parcial da gipsita diminuiu aproximadamente 20°C após 960 minutos de moagem acompanhada de uma redução de 4% na perda de massa. A redução da energia de ativação, necessária para promover a desidratação total da gipsita foi de 20% após 960 minutos. As alterações nas propriedades térmicas da gipsita ultrafina pela deformação plástica ocorrem pela geração de defeitos da estrutura cristalina induzidas pela ação termomecânica da moagem. Esta hipótese foi confirmada por análises complementares de difração de raios X que mostraram que os principais picos de difração da gipsita sofreram redução de intensidade e alargamento com o aumento do tempo de moagem.

PALAVRAS-CHAVE: minerais industriais; tamanho de partícula; análise térmica.

ABSTRACT

The processing of gypsum in high-energy mills is usually accompanied by structural changes and severe agglomeration of ultrafine particles. The aim of this study was to investigate the effect of ultrafine grinding on thermal properties of high-purity gypsum processed in a planetary ball mill. For this, aliquots of 40 ml in the range 417 x 833 μm were comminuted between 1 and 960 min at 300 rpm. The particle size distributions showed that the grinding limit was reached after 30 min ($d_{50} = 12 \pm 0.6 \mu\text{m}$), occurring agglomeration at longer grinding times. The agglomerates consisted of fine particles covering the partial broken ones. Compared to feed particles, the partial dehydration temperature of high milled gypsum particles decreased approximately 20°C followed by a decrease of approximately 4% in the weight loss. The change in the activation energy required to achieve the full dehydration of the gypsum was near 20% between feed and particles ground during 960 minutes. The changes in the thermal properties of ultrafine gypsum was explained by lattice defects and plastic deformation induced by the thermomechanical action of grinding. This hypothesis was confirmed by powder X-ray diffraction analysis, which showed that the main diffraction peaks of gypsum were broadening with the increase of the grinding time.

KEYWORDS: industrial minerals; particle size; thermal analysis.

1. INTRODUÇÃO

No processamento das rochas e minerais industriais, as principais especificações se referem à pureza, ao tamanho, à área superficial e à morfologia das partículas finas (<100 μm) e ultrafinas (<10 μm). À medida que tais insumos são destinados à fabricação de produtos mais sofisticados como cerâmicas, catalisadores, polímeros e fármacos, suas especificações passam a ser mais exigentes, impondo maior controle sobre o processamento das matérias-primas. Estas exigências muitas vezes se voltam às operações de redução de tamanho e classificação granulométrica. A primeira ocupa posição de destaque devido ao alto consumo de energia inerente às etapas de moagem fina e ultrafina (Wellenkamp, 1999). Em particular, a produção de materiais nanoestruturados tem aumentado a procura por minerais industriais com granulometria ultrafina (Sinton, 2006). Deve-se ressaltar que os limites inferiores de tamanhos atingidos na moagem ultrafina a seco estão diretamente associados aos mecanismos de aglomeração e adensamento das partículas. Apesar de amplamente aceito que a aglomeração aumenta com o aumento da área

superficial específica, as modificações estruturais responsáveis pela interação e adesão entre partículas ultrafinas e submicrométricas são pouco conhecidas (Aglietti et al., 1986a e 1986b; Palianiandy et al., 2007; Knieke et al., 2009; Guzzo et al., 2014).

A gipsita é um sulfato de cálcio di-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) que tem como principal característica a capacidade de desidratação e reidratação. A gipsita é utilizada na forma natural ou calcinada. A forma natural é utilizada na agricultura, enquanto a calcinada, conhecida como gesso, é aplicada na construção civil (gesso β) e na indústria farmacêutica e médica (gesso α). O Pólo Gesseiro do Araripe (PE) é responsável por 87% da produção de gipsita e 80% da produção de gesso do Brasil. As variedades mais conhecidas de gipsita do Araripe são: cocadinha, *Johnson*, alabastro e selenita. Apenas a variedade *Johnson* é utilizada para a produção de gesso α , devido à sua pureza (Baltar et al., 2008; Queiroz Filho et al., 2014). Um dos poucos trabalhos que trata do processamento da gipsita em moinhos de alta energia estudou a possibilidade de obter gesso pela ação mecanoquímica sem se deter no problema da aglomeração de ultrafinos (Zhang et al., 1996). Estudos relacionados a moagem ultrafina usando gipsita do Pólo Gesseiro do Araripe são escassos. Sabendo que a maior parte da gipsita explorada na região do Araripe é empregada na produção do gesso, por meio da calcinação, a análise do efeito da moagem ultrafina sobre suas propriedades térmicas poderá ser útil para prover informações que possam ser usadas na otimização das etapas industriais de moagem e calcinação.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da ação mecânica da moagem ultrafina em moinho planetário de bolas sobre as propriedades térmicas associadas à decomposição parcial e total da gipsita *Johnson* e caracterizar a granulometria e a morfologia do produto da moagem.

3. METODOLOGIA

Blocos de gipsita da variedade *Johnson* fornecidos pela Mineradora São Jorge (Ouricuri, PE) passaram por limpeza, fragmentação manual e foram britados e rebritados em britador de mandíbulas de dois eixos. Com o material classificado entre 417 e 833 μm foram preparadas 50 alíquotas de 40 ml (60 g). A Figura 1 ilustra blocos provenientes da mina e as partículas resultantes da etapa de adequação granulométrica aos ensaios de moagem. O moinho usado foi o planetário *Fritsch Pulverisette 5* com vasos (250 ml) e esferas (25 unidades; 10 mm) de zircônia. As alíquotas

foram moídas por: 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 120, 240, 480 e 960 min com velocidade de revolução de 300 rpm.

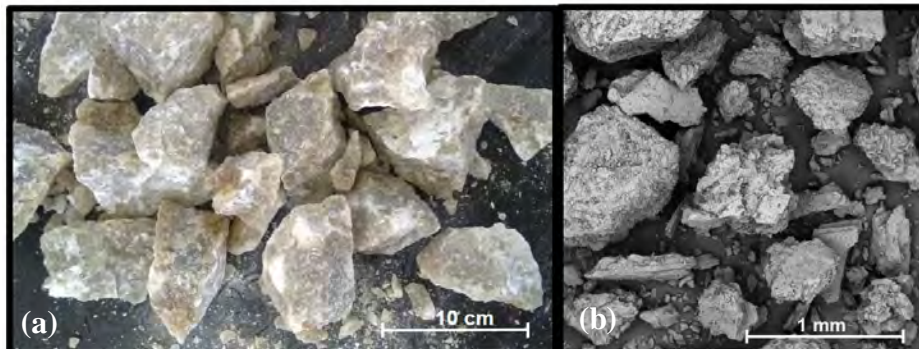


Figura 1: Blocos característicos da gipsita *Johnson* (a) e micrografias mostrando o hábito granular das partículas que compõem uma das alíquotas da alimentação (b).

As análises granulométricas (AG) foram realizadas no granulômetro a laser *Malvern Mastersizer 2000* a seco com o acessório *Sirocco*. A partir das curvas de distribuição granulométrica foram determinados os diâmetros característicos (d_{10} , d_{50} e d_{90}), a heterogeneidade da distribuição (d_{90}/d_{10}) e a área superficial específica média (S) das populações de partículas. A morfologia das partículas foi observada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) utilizando o microscópio *FEI Quanta 400*. As análises foram realizadas em alto vácuo a 20 kV com detector de elétrons retro-espalhados (RE). As partículas foram recobertas com filme de ouro.

As análises termodiferencial (TD) e termogravimétrica (TG) foram realizadas no equipamento *Shimadzu DTG-60H*. Aproximadamente 50 mg de cada alíquota moída foram aquecidos até 500 °C com taxa de aquecimento de 5°C/min em atmosfera inerte (50 ml/min de N_2 e utilizou-se a alumina calcinada como referência. Foram medidas as temperaturas da reação de desidratação parcial e total da gipsita, a perda de massa (PM) e, integrando o pico endotérmico relacionado à desidratação total, foi obtida a variação de entalpia da reação, que é uma estimativa aproximada da energia de ativação da reação de decomposição térmica (EDT).

Os difratogramas de raios X foram obtidos com o equipamento *Bruker D2 Phaser* e detector *Bruker-Lynxeye*, operando com 300 W (30 kV e 10 mA), irradiação Cu-K α ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$). $2\theta = 4\text{-}80^\circ$; fenda primária: 0,2 mm; passo do goniômetro: 0,0202 °/s; tempo de contagem por passo: 2,5 s. As amostras foram preparadas por *back-loading*. O aplicativo *Bruker-Diffrac.Eva* foi utilizado para medir a intensidade máxima (I_{\max}) e a largura a meia altura (FWHM do inglês, *full width at half maximum*) dos picos de difração referente aos planos cristalinos (200), (020) e ($\bar{1}$ 21). O $k_{\alpha 2}$ e o *background* foram subtraídos antes da realização das medidas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Granulometria e morfologia

Antes da realização da AG foi necessária uma etapa adicional de condicionamento da amostra devido à compactação das partículas no interior do pote. Durante os ensaios de moagem acima de 30 min, o material se compactou nas paredes do pote sendo necessário o uso de uma espátula metálica para desagregá-lo. Com isso, foram formados agregados macroscópicos que ultrapassavam o limite máximo de medida do granulômetro. Logo, o material moído foi classificado na peneira de abertura 600 μm (35 *mesh*) e a fração passante foi analisada. A Figura 2 ilustra o material compactado no interior do vaso, os agregados retidos na peneira e as duas frações obtidas após a classificação.

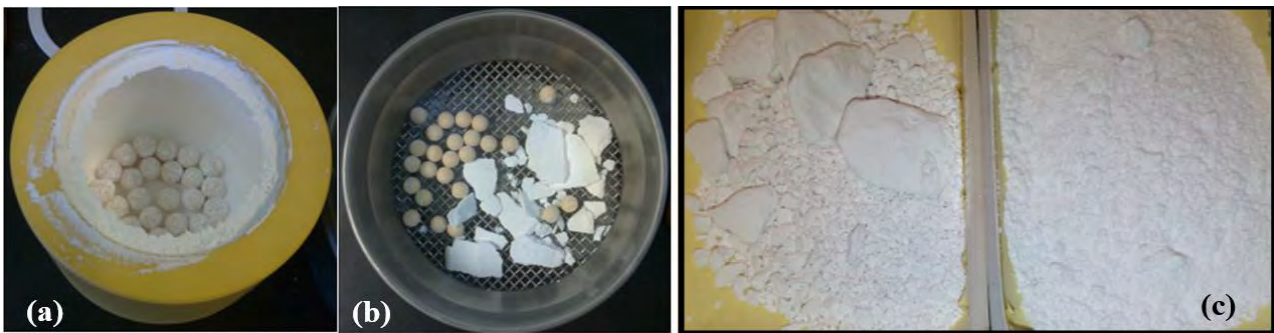


Figura 2: Vista superior do pote após moagem durante 60 min (a), de fragmentos aglomerados (b) e das frações obtidas após classificação na peneira de 0,6 mm (c).

A Figura 3(a) mostra o percentual de massa passante na peneira de 600 μm decorrente da formação de aglomerados macroscópicos. Observa-se que até 8 min não há formação de aglomerados. A partir de 8 min ocorre a formação de aglomerados, atingindo um percentual retido de aproximadamente 60% após 30 min. A partir de 60 min, é provável que a moagem também esteja provocando a quebra dos aglomerados formados. A Figura 3(b) apresenta curvas características da distribuição granulométrica da alimentação e das alíquotas moídas por 1, 30, 120, 960 minutos. Observa-se, de forma qualitativa, nas curvas de distribuição granulométrica que até 30 min houve redução do tamanho médio das partículas e acima deste tempo houve aumento do tamanho médio ocasionado pela aglomeração.

A Figura 4(a) apresenta a variação do d_{50} e do d_{90}/d_{10} em função do tempo de moagem. No primeiro minuto de moagem, observa-se uma redução de $\sim 50\%$ no d_{50} . A redução granulométrica continua até 4 min. Porém, antes que seja atingido o limite de moagem ocorre intensa

aglomeração das partículas em 8 e 15 min. Em 30 min é atingido o limite de moagem, $d_{50} = 12,7 \pm 0,6 \mu\text{m}$, correspondendo a uma redução de 97% do d_{50} inicial. O pequeno aumento do d_{50} após 30 min pode estar relacionado a concomitante ocorrência de aglomeração e fragmentação. A razão d_{90}/d_{10} aumenta com o aumento do tempo de moagem. Se destacam os valores de d_{90}/d_{10} obtidos para 8 e 15 min. Nestes pontos o aumento da heterogeneidade da distribuição é decorrente dos altos valores de d_{90} , indicando a aglomeração das partículas. A Figura 4(b) mostra a variação de S com o aumento do tempo de moagem. Observa-se gradual aumento de S até 30 min, alcançando o valor de $8000 \text{ cm}^2/\text{g}$ no limite de moagem. Para tempos maiores houve a aglomeração das partículas o que provocou a redução de S .

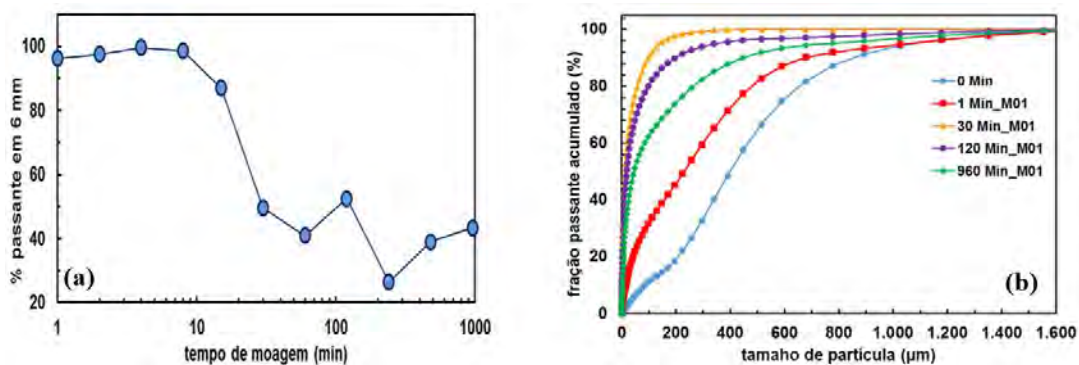


Figura 3: Fração percentual de massa de amostra retida na peneira de 0,6 mm (a) e curvas de distribuição granulométrica características da gipsita *Johnson* (b) moídas em diferentes tempos.

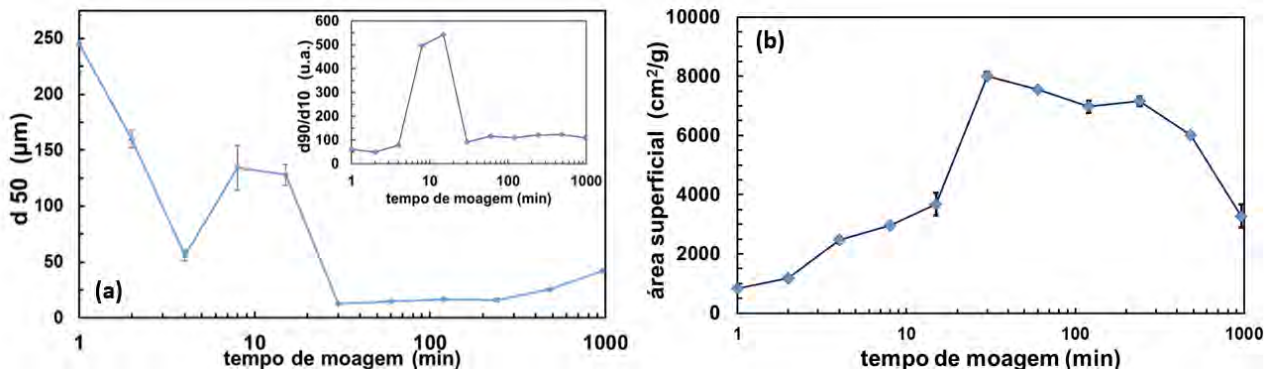


Figura 4: Variação do tamanho médio (d_{50}), da heterogeneidade da distribuição granulométrica (d_{90}/d_{10}) (a) e da área superficial específica (b) em função do tempo de moagem.

A Figura 5 apresenta micrografias das partículas da alimentação e cominuídas por 2, 15 e 120 min. Comparando as micrografias observa-se que além da redução de tamanho ocorre redução no grau de definição da morfologia das partículas com o aumento do tempo de moagem. Para os tempos de 15 e 120 min nota-se que as partículas finas formam aglomerados e recobrem partículas parcialmente quebradas. O mesmo efeito foi observado em amostras de calcário cominuídas em condições semelhantes (Guzzo et al., 2014).

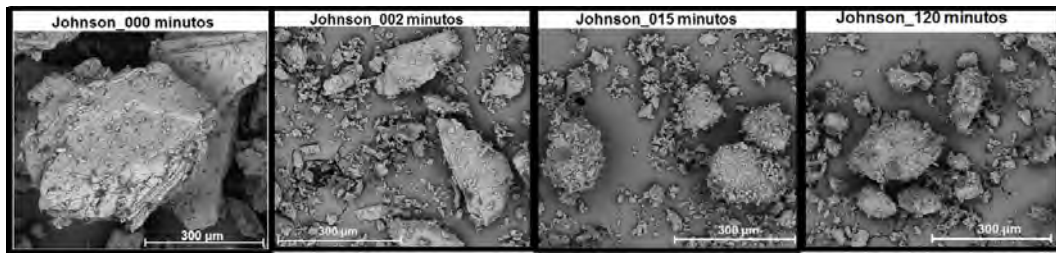


Figura 5: Imagens MEV-RE de partículas da gipsita *Johnson* moídas em diferentes tempos.

4.2 Modificações estruturais

A Figura 6(a) mostra curvas TD características da variedade *Johnson*. Os acidentes térmicos típicos da decomposição da gipsita (Baltar et al., 2008) identificados para a alimentação foram: liberação de 3/2 moléculas de H₂O formando o gesso a 136°C; liberação de ½ molécula de H₂O formando anidrita III a 157°C; transformação para anidrita II a 350°C. Observa-se que a formação do hemidrato ocorre em temperatura menor na amostra moída a 960 min. A Figura 6(b) apresenta a variação relativa da temperatura de desidratação parcial (TP) em função do tempo de moagem. Esta variação foi obtida tomando como referência a alimentação. A variação da TP foi analisada considerando três fases de moagem: de 1 a 15 min; de 15 a 240 min e de 240 a 960 min. Na 1ª fase a redução da TP está associada ao aumento de S. Na 2ª fase não ocorre redução acentuada da TP porque o material atingiu o limite de moagem. Provavelmente, a energia fornecida pelos corpos moedores começa a ser acumulada na forma de defeitos e deformação plástica na estrutura cristalina. Na 3ª fase a redução da TP está relacionada com o acúmulo acentuado de deformação plástica na estrutura cristalina, conforme observado anteriormente por Zhang et al. (1996).

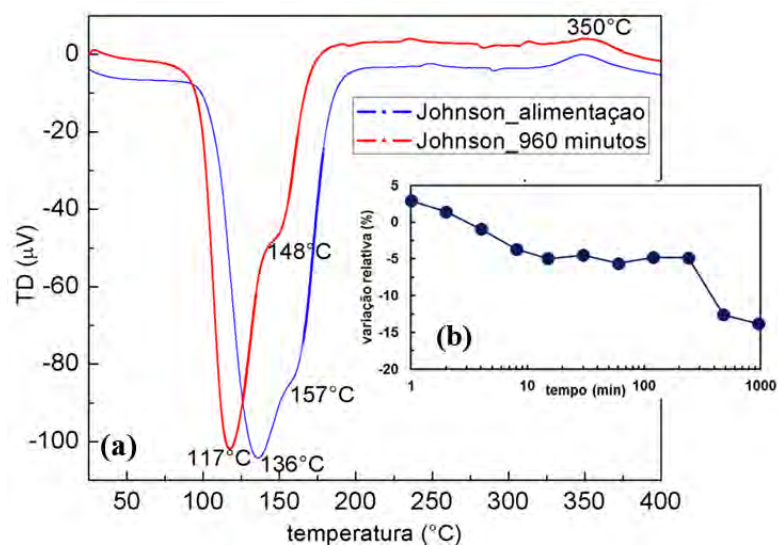


Figura 6: Termogramas da alimentação e da alíquota moída por 960 minutos (a) e variação relativa da temperatura de desidratação parcial da gipsita *Johnson* (b) em função do tempo de moagem.

A Figura 7 apresenta a variação relativa de EDT e PM em função do tempo de moagem. Observa-se que EDT diminui com o aumento do tempo de moagem. Após 960 min a redução foi de ~20%. A redução da EDT pode estar associada com o aumento de S e, para tempos maiores que 8 min, ao acúmulo de energia na forma de deformação plástica. Isto explica a menor quantidade de energia térmica necessária para promover a desidratação total da gipsita. A PM não foi afetada pela moagem nas alíquotas moídas até 60 min. Porém, nas alíquotas moídas por mais tempo houve redução na PM, alcançando 4% após 960 min de moagem. A variação negativa da PM é um indicativo de que está ocorrendo desidratação da gipsita durante a moagem.

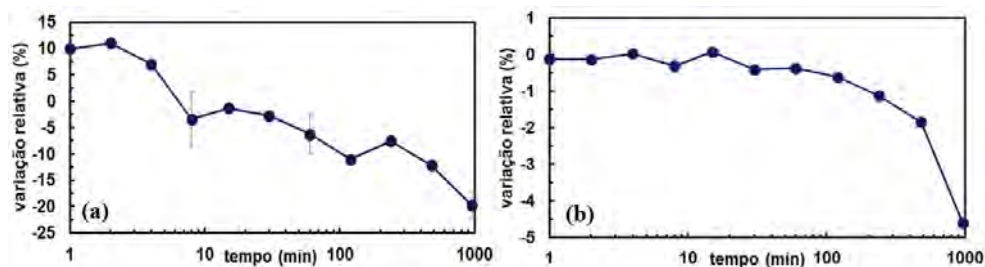


Figura 7: Variação relativa da entalpia (a) e da perda de massa (b) associadas à reação de desidratação total da gipsita Johnson em função do tempo de moagem.

A Figura 8 apresenta os difratogramas característicos da alimentação e da alíquota moída por 960 min. A única fase mineral indexada ao difratograma da amostra de alimentação foi a gipsita. Comparando os dois difratogramas nota-se que a moagem provocou redução da intensidade da maioria dos picos de difração.

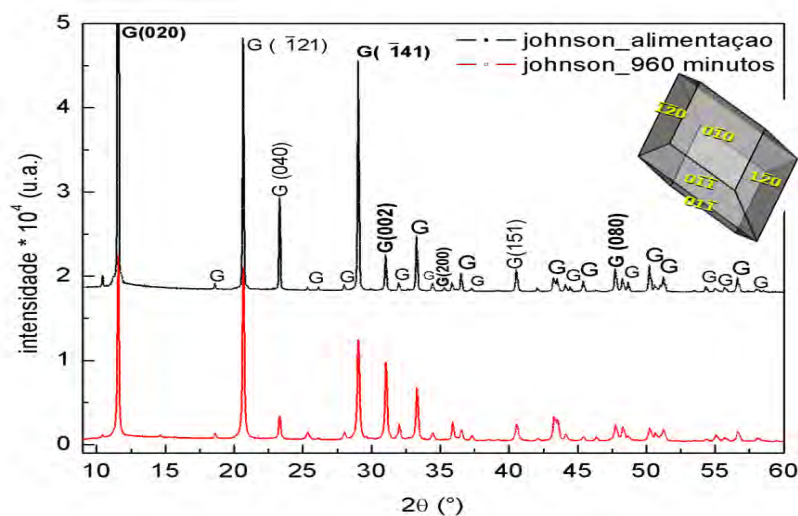


Figura 8: Difratogramas característicos da alimentação e da alíquota moída durante 960 min da gipsita Johnson. G: gipsita padrão COD: 5000039 (2013).

A Figura 9 apresenta as variações relativas da I_{\max} e do FWHM em função do tempo de moagem. Observa-se significativa redução do I_{\max} e alargamento dos picos de difração com o aumento do tempo de moagem. A redução do I_{\max} foi de $\sim 90\%$ para os planos (200) e (020) após 960 min de moagem. O aumento do FWHM foi de aproximadamente 80% para os planos (121) e (020) após 960 min. Isto indica que a moagem está de fato provocando defeitos e deformação plástica na estrutura cristalina da gipsita. Os parâmetros I_{\max} e FWHM são usados por Cullity (1978) e por Pourghahramani (2006) para avaliar modificações estruturais induzidas pela ação da moagem ultrafina. Portanto, os resultados de DRX confirmam a hipótese levantada para explicar o que foi observado através das análises térmicas.

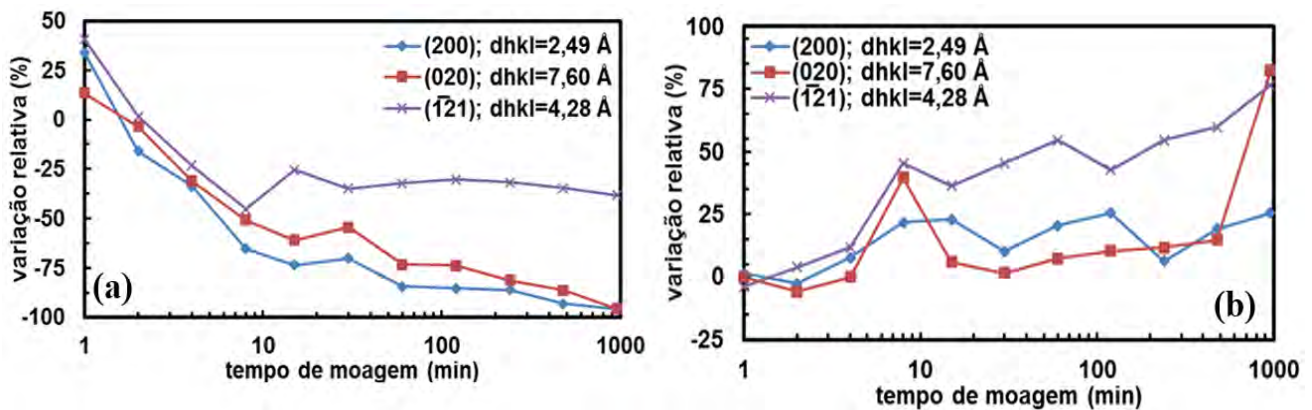


Figura 9: Variação percentual relativa da intensidade (a) e da largura a meia altura (b) dos principais picos de difração da gipsita em função do tempo de moagem.

5. CONCLUSÃO

A análise atual dos resultados deste estudo permite concluir que o limite de moagem ($d_{50}=12,7\pm 0,6 \mu\text{m}$) é atingido após 30 minutos devido à ação conjunta dos mecanismos de quebra e aglomeração. Comparado à alimentação constatou-se que a moagem durante 960 min causou os seguintes efeitos: (i) redução da temperatura de desidratação parcial em 19°C ; (ii) desidratação mecanoquímica de 4%; (iii) redução da energia de ativação da desidratação total em 20%. Portanto, apoiando-se nas análises complementares de difração de raios X podemos afirmar que a moagem induz a geração de defeitos e deformação plástica da estrutura cristalina e que as modificações estruturais são significativas e contribuem positivamente para promover a desidratação da gipsita. A análise conjunta dos resultados indica que as melhores condições de processamento de gipsita *Johnson* no moinho planetário de bolas para se obter boa redução granulométrica e baixa aglomeração é moer por 4 min a 300 rpm.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Mineradora São Jorge (Ouricuri-PE) pelo fornecimento das amostras de gipsita. Um dos autores (A. A. A. Tino) agradece a FACEPE pela concessão da bolsa de pós-graduação (PBPG-0341- 3.02/14).

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aglietti, E. F; Porto Lopez, J. M; Pereira, E. **Mechanochemical effects in kaolinite grinding**. Part I: Textural and physicochemical aspects. *International Journal of Mineral Processing*. 1986. 1116 125 – 133; Part II: Structural aspects. *Int. J. Miner Process*. 1986. 16. 135 – 146.

Baltar, C. A. M. B; Bastos, F. F; Luz, A. B. **Gipsita**. In: Luz, A. B; LINS, F. A. F; Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações. 2 Ed., Rio de Janeiro: CETEM/MCT; 2008. P. 505-526.

Cullity, B. B; 1978. **Elements of X-rays Diffraction**. 2nd edition, book. xii, 555p. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. Massachusetts.

Guzzo, L. P; Santos, J. B; David, R. C. **Particle size distribution and structural changes in limestone ground in planetary ball**; *Inter. Journal of Mineral Processing*; 2014. 126, 41–48.

Kneike, C; Sommer, M; Peukert, W. **Identifying the apparent and true grinding limit**. *P. Tech*; 2009. 195, 25 – 30.

Palaniady, S; Azizll K. A. M; Hussin, S.F.S. **Study on mechanochemical effect of silica for short grinding period**. *International Journal of Mineral Processing*; 2007 82; 195-202.

Pourghahramani, P; Forssberg, E. **Microstructure characterization of mechanically activated hematite using XRD line Broadening**; *Inter. Journal of Mineral Processing*; 2006. 79, 106-119.

Queiroz Filho, A. A; Amorim Neto, A. A; Dantas, J. O. C. **Gipsita**. *Sumário Mineral 2014*; DNPM.

Sinton, C. W. **Raw Materials for Glass and Ceramics: Sources, Processes and Quality Control**. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey; 2006 p.63-87.

Wellenkamp, F.J. **Moagem Fina e Ultrafina de Minerais Industriais: Uma Revisão**, Série Tecnologia Mineral/CETEM; 1999. N° 75, 55p.

Zhang, Q; Kasai, Kasai, E; Saito, F. **Mechanochemical changes in gypsum when dry ground with hydrated minerals**. *Powder Technology*; 1997. 87; 67-71.

ESTUDO COMPARATIVO DA MOAGEM ULTRAFINA DE CALCÁRIO METAMÓRFICO E SEDIMENTAR EM MOINHO PLANETÁRIO DE BOLAS

Filipe B. M. Barros¹, Alan A. A. Tino², Pedro L. Guzzo³, Evenildo B. de Melo⁴

¹Graduando em Engenharia de Minas, UFPE

²Mestrando em Engenharia Mineral, UFPE

³Professor Associado, Departamento de Engenharia de Minas, UFPE

⁴Professor Associado, Departamento de Geologia, UFPE

filipebmb@gmail.com, pguzzo@ufpe.br

RESUMO

Dentre os minerais industriais o calcário possui um dos maiores espectros de aplicação. Na granulometria ultrafina ($< 10 \mu\text{m}$), sua principal utilização ocorre na produção de papel e celulose. A obtenção de ultrafinos é limitada tanto pelo alto consumo de energia quanto pelos mecanismos de aglomeração das partículas submicrométricas. O objetivo deste estudo foi caracterizar o produto da moagem ultrafina de duas variedades distintas de calcário, um metamórfico e outro sedimentar, empregando a espectroscopia infravermelha (IV). Para isso, alíquotas na faixa $450 \times 850 \mu\text{m}$ foram cominuídas em moinho planetário de bolas, em doze intervalos de tempo entre 1 e 1920 minutos, a 300 rpm. A caracterização preliminar das amostras mostrou que o calcário metamórfico é calcítico (CaCO_3) e o sedimentar é dolomítico ($\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$). Pela análise granulométrica, observou-se que os limites de moagem foram distintos e ocorreram em diferentes tempos de moagem: $12 \mu\text{m} / 120$ minutos para o calcário metamórfico; $7 \mu\text{m} / 480$ minutos para o sedimentar. Intensa aglomeração foi observada para maiores tempos de moagem. Por meio da espectroscopia IV pode-se perceber que as intensidades das bandas de absorção (estiramento e deformação do ânion CO_3^{2-}) da calcita e da dolomita aumentaram até os respectivos limites de moagem devido à adequação do tamanho de partículas às condições de análise. Após esses limites, as intensidades das bandas diminuíram. Análise complementar mostrou que a redução na intensidade das bandas de absorção da calcita e da dolomita deve-se, sobretudo, à formação de aglomerados formados durante a moagem de alta energia.

PALAVRAS-CHAVE: moagem, calcário, espectroscopia infravermelha.

ABSTRACT

Among the industrial minerals limestone has one of the largest application spectra. In ultrafine sizes ($<10\ \mu\text{m}$), its main use is in the production of pulp and paper. The production of ultrafine particles is limited by high energy consumption and agglomeration mechanisms. Thus, the aim of this study was to characterize the product of ultrafine grinding of two different varieties of limestone, metamorphic and sedimentary, using the infrared (IR) spectroscopy. For this, aliquots in the size range of $450\times 850\ \mu\text{m}$ were comminuted in a planetary ball mill between 1 and 1920 minutes at 300 rpm. The mineralogical characterization showed that the mayor constituent of metamorphic and sedimentary samples is calcite (CaCO_3) and dolomite ($\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$), respectively. The particle size analysis showed the grinding limit was reached at different time for each sample, as follows: 120 minutes ($12\ \mu\text{m}$) to the metamorphic sample; 480 minutes ($7\ \mu\text{m}$) to the sedimentary sample. Intense agglomeration was produced above these limits. By IR spectroscopy, it was be seen that the intensities of the absorption bands of calcite and dolomite (stretching and bending of CO_3^{-2} anions) increased up to reaching the grinding limit due to the fitting of particle size to measurement conditions. Above these limits, the intensity of the IR bands decreased. Additional measurements using only the agglomerated particles made clear that the decrease in IR intensity bands is mainly related to particle size.

KEYWORDS: grinding, limestone, infrared spectroscopy.

1. INTRODUÇÃO

As propriedades do estado particulado dos minerais industriais (quartzo, feldspato, caulim, gipsita, rochas carbonatadas, etc.) como pureza, tamanho e morfologia das partículas, determinam as funções, os desempenhos e as aplicações industriais dos mesmos (Sinton, 2006). Desses minerais, talvez não haja outro com uma variedade de usos tão ampla quanto o calcário. Esta rocha é usada na obtenção de blocos para a indústria da construção civil, material para agregados, cimento e cal. As rochas calcárias e seus produtos também são usados como: fundentes, matéria-prima para as indústrias de vidro, refratários e abrasivos; corretivos de solos, etc. Na granulometria ultrafina ($<10\ \mu\text{m}$) o calcário é empregado na produção de papel e celulose, fármacos e pigmentos (Sampaio *et al.* 2008). Com toda essa gama de aplicações, fica evidente a importância de estudos sobre os processos de redução de tamanho deste bem mineral.

A moagem de alta energia é o processo mais utilizado para obtenção de produtos em dimensões ultrafinas (Welemkamp, 1999). No entanto é um processo crítico, pois ao reduzir a granulometria também há uma redução da densidade de microtrincas por unidade de volume da partícula, acarretando maior consumo de energia nas etapas seguintes. Assim, a energia que deveria ser consumida na quebra das partículas é acumulada pela estrutura do material provavelmente na forma de deformação plástica. Logo, quanto menor o tamanho de partícula, maior a sua reatividade química, devido à maior área superficial, ou seja, partículas ultrafinas apresentam maior quantidade de cargas livres na superfície, gerando uma instabilidade. A estabilização das partículas vem da interação entre elas, criada pelas cargas superficiais e forças de van der Waals, gerando aglomerados (Welemkamp, 1999; Lins e Adamian, 2000). Esses aglomerados amortecem os impactos dos corpos moedores, reduzindo a eficiência do processo da moagem. Diante do exposto, torna-se fundamental um maior conhecimento e controle dos processos de cominuição e classificação granulométrica de partículas minerais com dimensões inferiores a 10 μm .

Além da microscopia eletrônica de varredura, as técnicas usualmente empregadas para o estudo das modificações estruturais de amostras altamente cominuídas são difração de raios X e as análises térmicas. Recentemente, Guzzo *et al.* (2014) verificou que o início da aglomeração de ultrafinos poderia ser caracterizado pela espectroscopia por ressonância paramagnética eletrônica (RPE). Por sua vez, Li *et al.* (2014) utilizou a espectroscopia infravermelha (IV) para caracterizar a formação de aragonita a partir da moagem de calcita. Os processos de aglomeração e modificação estrutural, induzidos pela moagem de alta energia foram pouco estudados pela espectroscopia IV. Cabe ressaltar que a espectroscopia IV por refletância total atenuada (Canevarolo Jr, 2006) poderá contribuir para estudos dessa natureza uma vez que é apropriada para materiais pulverizados.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo investigar a influência do tempo de moagem sobre a granulometria, a morfologia e as mudanças estruturais das partículas ultrafinas de duas variedades de calcário (metamórfico e sedimentar) resultantes da moagem em moinho planetário de bolas. Propõe-se empregar a espectroscopia IV por refletância total atenuada (ATR) para acompanhar modificações estruturais induzidas pela moagem de alta energia do calcário.

3. METODOLOGIA

Para este estudo, foram utilizados blocos de calcário metamórfico provenientes da Mina Brejuí (Currais Novos, RN) e blocos de calcário sedimentar procedente da Usina Eólica Baixa do Meio (Jandaíra, RN). Os blocos (Figura 1) foram limpos utilizando escova de aço. Em seguida foram britados utilizando britadores de mandíbula de 1 (um) eixo e de rolos. O material britado foi classificado entre 850 e 450 μm . Para cada amostra, foram preparadas 30 alíquotas de 40 ml (60g).

A caracterização mineralógica das amostras de partida foi realizada por difratometria de raios X. Esta análise mostrou que o calcário metamórfico é predominantemente constituído por calcita (CaCO_3); conteúdo também dolomita ($\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$), quartzo (SiO_2) e caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Por sua vez, o calcário sedimentar é constituído principalmente por dolomita; conteúdo também calcita e quartzo.

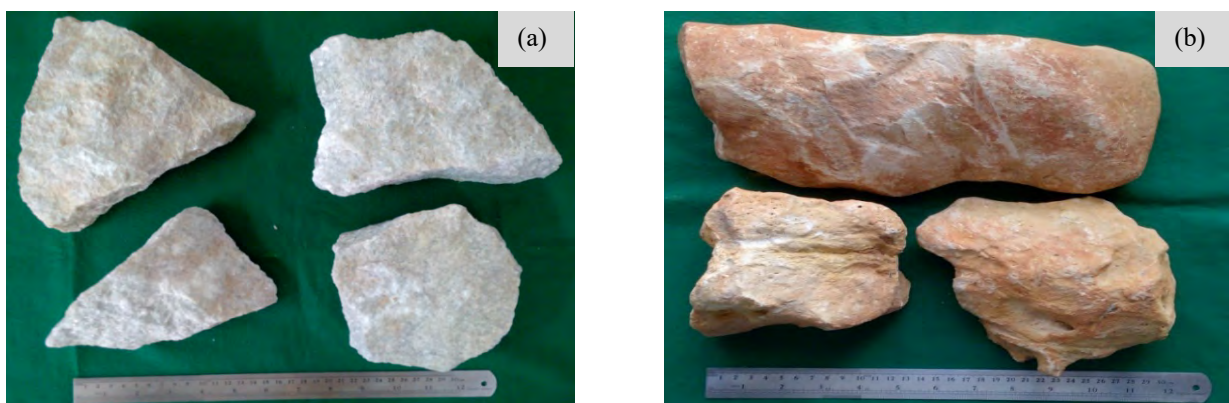


Figura 1 - Blocos representativos do calcário metamórfico (a) e sedimentar (b) em estudo.

Os ensaios de moagem foram realizados a seco, em moinho planetário *Fritsch Pulverisette5* utilizando vasos (250 ml) e esferas (25; 10 mm) de zircônia. As alíquotas foram moídas, simultaneamente, em vasos distintos, por: 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 120, 240, 480, 960 e 1920 minutos, com velocidade de revolução de 300 rpm.

As análises granulométricas foram realizadas via úmido no granulômetro a laser Malvern Mastersizers 2000. As análises granulométricas foram medidas em triplicata, ou seja, o resultado fornecido corresponde à média de três leituras. A partir de cada curva de distribuição granulométrica, foi determinado o parâmetro D_{50} que corresponde à abertura em que passa 50% do volume total do material analisado. A morfologia das partículas foi analisada por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), mediante imagens obtidas, com 18 kV, no detector de elétrons secundários, utilizando o microscópio Quanta 200 FEG, após recobrimento com filme de ouro.

A espectroscopia IV foi utilizada para analisar as possíveis alterações nas vibrações do ânion CO_3^{-2} causadas pela ação mecanoquímica da moagem nas amostras de calcário metamórfico e sedimentar. Para aquisição dos espectros vibracionais de absorção dos calcários, foi utilizado o espectrômetro por transformada de Fourier (FTIR), modelo *Bruker Vertex70*, pela técnica de refletância total atenuada (ATR) (Canevarolo Jr, 2006), com o acessório *Pike Miracle* provido de um cristal de seleneto de zinco (ZnSe). Os espectros foram obtidos entre 4000 e 400 cm^{-1} , com resolução de 2 cm^{-1} e 256 varreduras.

A intensidade das bandas de absorção de algumas vibrações do ânion CO_3^{-2} da calcita e dolomita das amostras cominuídas foi determinada em relação à intensidade de absorção a 3800 cm^{-1} . Isto porque a transmitância neste numero de onda (energia) para esses minerais é próximo a 100 % (White, 1974; Gomathi, 2009). Logo, a intensidade de cada banda de absorção (A) foi determinada pela seguinte equação:

$$A = \frac{A_B}{1 - A_{3800}} \quad (1)$$

em que A_B e A_{3800} correspondem à absorbância máxima da banda analisada e aquela a 3800 cm^{-1} , respectivamente, medidas no mesmo espectro. Desta forma, é possível minimizar o efeito do ruído instrumental que pode variar de uma medida para outra.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise granulométrica e morfológica

A Figura 2 mostra a variação do diâmetro médio (D_{50}) de todas as alíquotas moídas a 300 rpm. Considerando que D_{50} do material de partida (alimentação) é 968 e 1033 μm para o calcário metamórfico e sedimentar, respectivamente, observa-se significativa redução do tamanho de partícula já para os primeiros intervalos de moagem. Porém, para os tempos de moagem acima de 60 minutos, para o calcário metamórfico, e acima de 480 minutos para o calcário sedimentar, constatou-se uma tendência de aumento nos valores de D_{50} .

A Figura 3 mostra as imagens obtidas por MEV das alíquotas de calcário moídas por 4, 120 e 480 minutos. Além da redução de tamanho, a análise comparativa dessas imagens sugere que a morfologia do produto da moagem varia com o tempo e com a natureza do calcário. Observa-se o aparecimento de aglomerados em tempos distintos para cada tipo de calcário, ou seja: metamórfico após 120 e sedimentar após 480 minutos.

A análise conjunta das figuras 2 e 3 indica que os limites de moagem são atingidos após 60 minutos (12 μm) para o calcário metamórfico e após 480 minutos (7 μm) para o sedimentar. Observou-se que a aglomeração ocorreu após o limite de moagem para as duas variedades. Utilizando potes e bolas de aço para a moagem de calcário metamórfico, Guzzo *et al* (2014) obteve menores limites de moagem ($D_{50} = 9 \mu\text{m}$ após 15 minutos). Por se tratar do mesmo moinho, da mesma velocidade de revolução e do mesmo diâmetro das esferas, a diferença entre os limites de moagem pode ser explicada pela maior energia de impacto associada às bolas de aço (massa específica 7,8 g/cm³), do que às bolas de zircônia (massa específica 5,7 g/cm³).

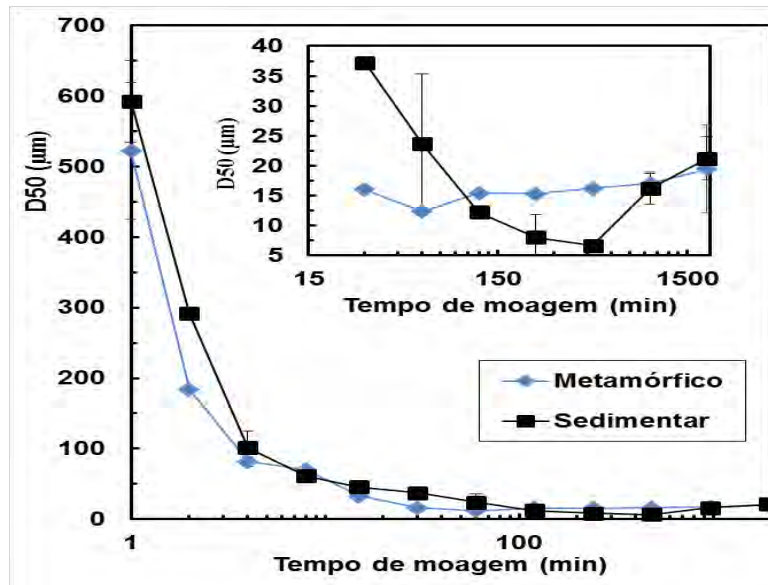


Figura 2- Diâmetro médio (D_{50}) em função do tempo de moagem para as duas variedades de calcário. A figura inserida mostra os valores de D_{50} entre os tempos de 15 e 1920 minutos de moagem.

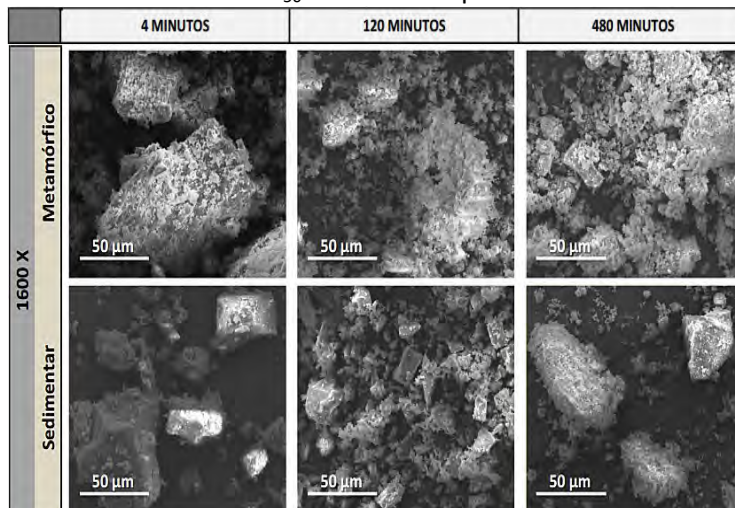


Figura 3 - Imagens de MEV do produto da moagem das variedades de calcário em estudo.

4.2 Análise espectroscópica

Na Figura 4 observa-se espectros IV das duas variedades de calcário e as posições (em número de onda) das vibrações características da calcita (CaCO_3) e da dolomita ($\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$). As

bandas de absorção correspondem às vibrações moleculares do ânion carbonato (CO_3^{2-}) quando influenciadas pelo cátion Ca^{+2} , como se observa na calcita e pelos cátions Ca^{+2} e Mg^{+2} , como visto na dolomita (White, 1974; Gomathi, 2009).

Em ambos os calcários observou-se que os estiramentos antissimétricos (1398 cm^{-1} , calcita; 1418 cm^{-1} , dolomita) e as deformações angulares fora do plano (877 cm^{-1} , calcita; 872 cm^{-1} , dolomita) possuem maiores variações nas intensidades de absorção vibracional, indicando que essas vibrações são mais afetadas pela moagem. Nas duas variedades, as deformações angulares no plano (712 cm^{-1} , calcita; 728 cm^{-1} , dolomita) não sofreram variação significativa em suas intensidades vibracionais. Essas alterações podem ser decorrentes de três fatores: (i) a variação no tamanho de partícula causada pela moagem; (ii) a variação do tamanho de partícula causada pela aglomeração dos ultrafinos; (iii) modificações estruturais oriundas da moagem de alta energia.

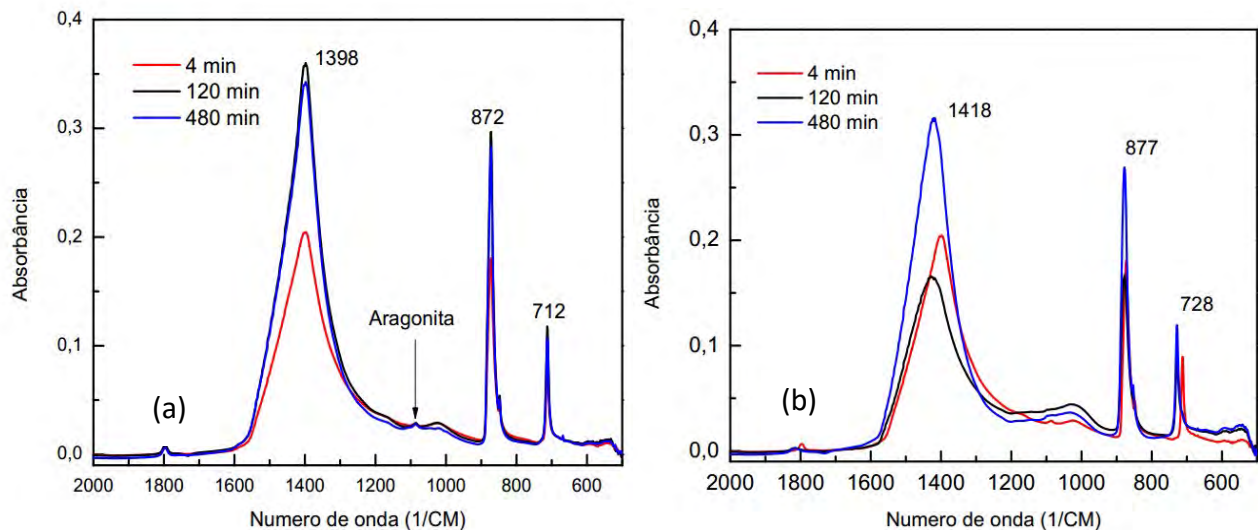


Figura 4 - Espectros IV característicos do calcário metamórfico (a) e sedimentar (b) moídos em diferentes tempos indicando as principais vibrações do radial CO_3^{2-} na calcita (a) e na dolomita (b).

A Figura 5 apresenta as variações das intensidades das bandas de absorção da calcita e da dolomita obtidas pela equação (1), em função do tempo de moagem. Na Figura 5(a) observa-se um aumento na intensidade das bandas a 1398 e 872 cm^{-1} da calcita até 120 minutos. No entanto, a banda a 712 cm^{-1} apresenta pequena variação. Esse aumento na intensidade das bandas até 120 minutos está provavelmente relacionado com a adequação do tamanho de partícula para a realização desta análise. Segundo Canevarolo Jr (2006), a técnica de refletância total atenuada (ATR) necessita que a amostra recubra todo o cristal do acessório ATR. Como o recobrimento do cristal é comprometido quando as partículas são relativamente grandes, a intensidade de absorção do feixe pela amostra fica comprometida. A partir de 120 minutos as três bandas vibracionais da calcita passam a ter intensidades de absorção cada vez menores. Por sua vez, na

Figura 5(b), observa-se que as intensidades das bandas vibracionais da dolomita permanecem praticamente constantes até 60 minutos, quando se inicia o aumento nas intensidades das bandas de absorção da dolomita (1418, 877 e 728 cm^{-1}) até 480 minutos, provavelmente associados com a adequação do tamanho de partícula para a análise por ATR. Após 480 minutos observa-se uma redução mais significativa nas intensidades das bandas vibracionais.

As reduções das intensidades de absorção após atingido os limites de moagem do calcário metamórfico (60 min) e sedimentar (480 min) indicam que as vibrações do ânion CO_3^{2-} foram afetadas. No entanto, não é possível dizer se essa redução foi gerada pela aglomeração das partículas, observadas nesses tempos de moagem, ou pelas modificações estruturais oriundas da moagem de alta energia.

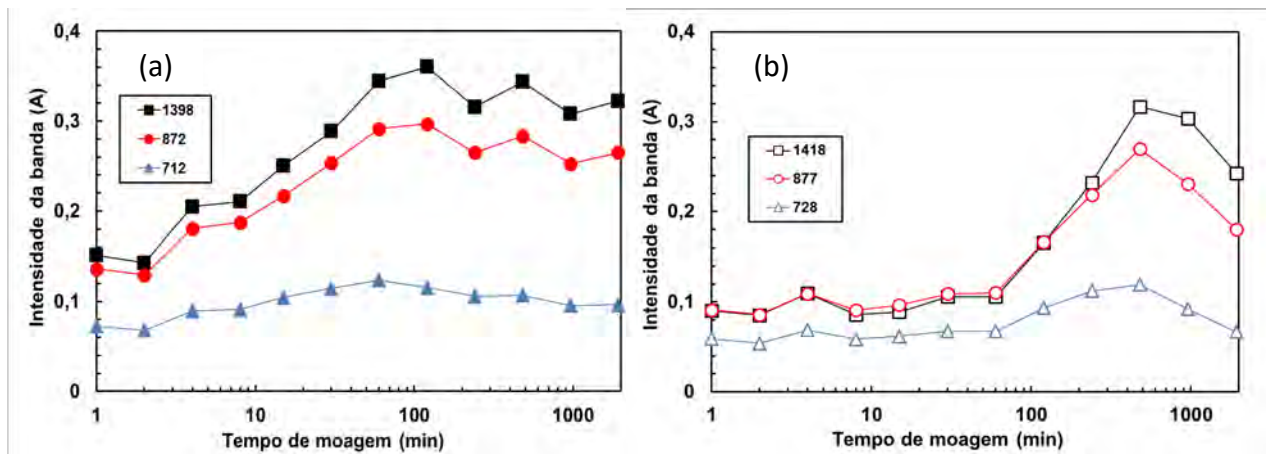


Figura 5 - Intensidade das bandas de absorção IV do radical CO_3^{2-} das variedades de calcário metamórfico (a) e sedimentar (b) em função do tempo de moagem.

Para esclarecer a origem da redução das intensidades das bandas de absorção após os limites de moagem, espectros IV dos aglomerados descompactados foram realizados. Para isso, partículas aglomeradas das alíquotas moídas a 480, 960 e 1920 minutos, de cada amostra, foram individualmente coletadas e submetidas a uma cuidadosa descompactação em almofariz de ágata. Para efeito comparativo, foram realizadas novas medidas das alíquotas moídas a 4 e 60 minutos.

A Figura 6 apresenta as intensidades das bandas de estiramento antissimétrico e deformação fora do plano das alíquotas moídas a 4, 60, 480, 960 e 1920 minutos antes e depois da desaglomeração. Para as alíquotas do calcário metamórfico, observa-se que, uma vez atingido o limite de moagem (12 μm /60 min) para o calcário metamórfico não há diferença significativa entre as intensidades de absorção das bandas das amostras com (após moagem) e sem aglomerados (após descompactação). Logo, a hipótese de que a diminuição da área superficial, gerada pela aglomeração das partículas, influencia a redução da intensidade das bandas vibracionais do ânion CO_3^{2-} pode ser, à princípio descartada para este calcário. Por sua vez, para o calcário sedimentar,

constata-se uma diferença significativa do efeito da presença dos aglomerados para a alíquota moída a 1920 minutos. Portanto, a redução de intensidade observada na Figura 5(b) deve-se, sobretudo, ao tamanho das partículas analisadas.

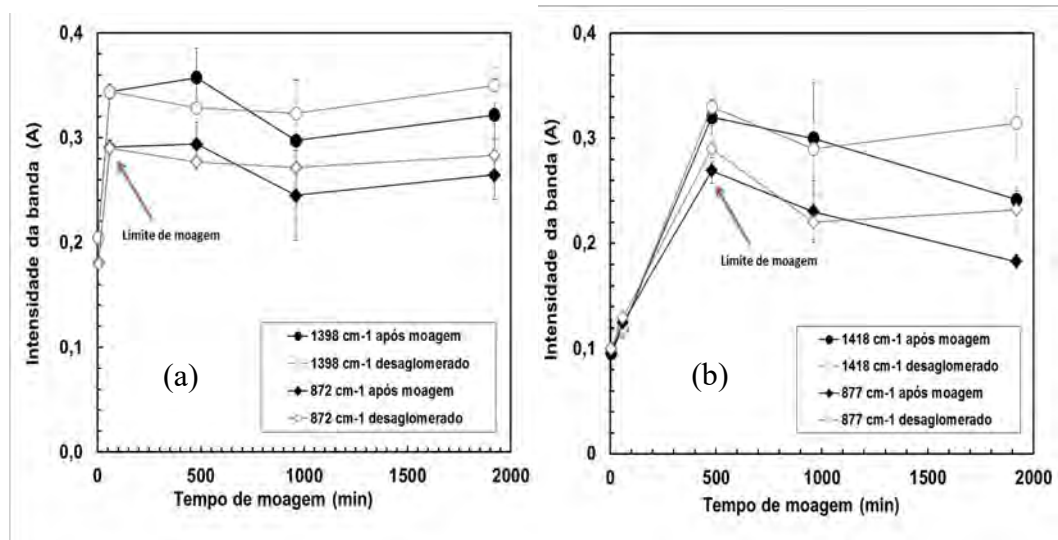


Figura 6 - Intensidade das bandas de absorção IV do radical CO_3^{-2} do calcário metamórfico (a) e sedimentar (b) antes e depois da desaglomeração.

Os estudos de espectroscopia IV realizados por Li *et al* (2014) com amostra de calcário com predominância de calcita mostram a formação da vibração características da aragonita (1086 cm^{-1}) nas amostras moídas a 1500 rpm entre 360 e 720 minutos. O surgimento da banda da aragonita evidencia modificações na estrutura cristalinas da calcita. No nosso estudo, não foi possível verificar uma variação significativa da banda da aragonita (Figura 4a) provavelmente porque o grau de severidade da moagem foi menor devido à menor velocidade de revolução empregada.

5. CONCLUSÃO

A partir das análises granulométricas e imagens microscópicas das partículas cominuídas, concluiu-se que os limites de moagem das amostras de calcário metamórfico e sedimentar foram diferentes e ocorreram em diferentes intervalos de moagem, quais sejam: $12 \mu\text{m}$ / 60 minutos para o metamórfico e $7 \mu\text{m}$ / 480 minutos para o sedimentar. A partir desses limites, constatou-se uma intensa aglomeração dos ultrafinos.

Pela espectroscopia IV foi observado que as intensidades das bandas vibracionais do ânion carbonato (CO_3^{-2}) aumentaram desde os pequenos tempos de moagem para o calcário metamórfico e a partir de 60 minutos para o calcário sedimentar; provavelmente devido à adequação da granulometria para a realização dos ensaios com o acessório ATR. A redução da intensidade das bandas de absorção observada para o calcário sedimentar, depois de atingido o

limite de moagem, também está relacionada com o tamanho das partículas analisadas. Isto porque as intensidades das bandas de absorção IV aumentaram após a fragmentação dos aglomerados formados durante a moagem. A influência dos aglomerados sobre a intensidade das bandas de absorção foi menor para o calcário metamórfico. Ensaio complementares são necessários para melhor evidenciar a potencialidade da espectroscopia IV por refletância total atenuada no estudo das modificações estruturais induzidas pela moagem de alta energia.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao técnico Marcelo F. Gomes pelo apoio na preparação das amostras. Este trabalho contou apoio financeiro da FACEPE (APQ-0429-3.02/08 e APQ-1343-3.09/10). As análises de microscopia eletrônica foram realizadas no Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE, Recife, PE). Um dos autores agradece à FACEPE pela bolsa de iniciação científica (BIC 0530-3.02/14 e BIC0243-3.02/15).

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CANEVAROLO, S. V. Jr, Técnicas de caracterização de polímeros – Artliber Editora Ltda – São Paulo (2006), p. 17 – 39.
- GOMATHI, S. S. 2009. Thermoluminescence dosimetric characteristics and structural analysis of natural dolomite. Tese – Annamalai University.
- GUZZO, P.L.; SANTOS, J.B.; DAVID, R.C. 2014. Particle size distribution and structural changes in limestone ground in planetary ball mill. *Int. J. Miner. Process.* v. 126, 41-48.
- LI, T.; SUI, F.; LI, F.; CAI, Y.; JIN, Z. 2014. Effects of dry grinding on the structure and granularity of calcite and its polymorphic transformation into aragonite. *Int. J. Miner. Process.* v. 254, 338-343.
- LINS, F.F.; ADAMIAN R. 2000. Minerais coloidais, teoria DLVO estendida e forças estruturais. *Serie Tecnologia Mineral*, 78, Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 29p.
- SAMPAIO J.A.; ALMEIDA S.L.M. 2008. Calcário e dolomito In: Luz AB, Lins FAF (ed.). *Rochas e minerais industriais: usos e especificações*. 2 ed., Rio de Janeiro: CETEM/MCT, pp. 363-387.
- SINTON C.W. 2006. *Raw Materials for Glass and Ceramics: Sources, Processes and Quality Control*. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey. p.63-87.
- WELLENKAMP F.J. 1999. Moagem Fina e Ultrafina de Minerais Industriais: Uma Revisão. *Série Tecnologia Mineral* vol. 75, CETEM/MCT, 55p.
- WHITE, W.B. 1974. The carbonate minerals. In: *The infrared spectra of minerals*, Ed. V.C. Farmer. Cap. 12, pp. 227-284.

INFLUÊNCIA DO TIPO DE MOINHO NA DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHO E MORFOLOGIA DE PARTÍCULAS DE MUSCOVITA

Silvia C. A. França¹, Shirlene S. Fontes² e Karollyne Castro³

¹ Eng. Química, D.Sc., Tecnologista Sênior, CETEM/RJ

² Química, D.Sc., Docente, Universidade da Zona Oeste - UEZO/RJ

³ Aluna de graduação em Química, Universidade da Zona Oeste - UEZO/RJ

E-mail : sfranca@cetem.gov.br

RESUMO

Os efeitos de brilho iridescente podem ser obtidos em produtos industriais por meio do uso de pigmentos perolizados. A maneira mais eficiente e econômica de fabricação desses pigmentos é recobrir um portador de forma placoidal (geralmente, micas), com substâncias de alto índice de refração tais como TiO_2 , Fe_2O_3 , SnO_2 , Cr_2O_3 ou suas combinações, ou ainda, com camadas alternantes de substâncias de alto e baixo índice de refração. Para uso na síntese de pigmentos perolizados a mica deve ser utilizada em granulometrias muito finas, abaixo de 50 μm . Entretanto, a redução de tamanho das partículas da mica muscovita sem destruir os seus cristais é um ponto importante para liberar as impurezas eventualmente presentes e preservar as características óticas e mecânicas do mineral, necessárias à aplicação em pigmentos perolizados. A exploração dos pegmatitos da região Borborema-Seridó (PB-RN) tem como um dos principais produtos o concentrado de mica muscovita, cujo processo é baseado na catação manual, cominuição e classificação. O produto do beneficiamento (+15 mm) é largamente utilizado na indústria de isolantes e supre o mercado regional. O rejeito desse processo, conhecido como mica-lixo (-15 mm), não tem aplicação industrial. Portanto, torna-se importante avaliar a possibilidade de uma aplicação industrial para esse rejeito, possibilitando a redução do passivo ambiental e o aumento de oportunidades econômicas para a região. Resultados de ensaios de moagens com diferentes tipos de moinhos acenam para a possibilidade de aplicação da mica lixo beneficiada (com granulometria e estrutura cristalina adequadas) na produção de pigmentos perolizados.

PALAVRAS-CHAVE: muscovita, mica-lixo, moagem, pigmentos perolizados.

ABSTRACT

The iridescent shine effects can be obtained in industrial products by using pearlescent pigments. The most efficient and economical way to manufacture these pigments is coating a plate shape mineral (usually mica) with substances of high refractive index such as TiO_2 , Fe_2O_3 , SnO_2 , Cr_2O_3 or combinations thereof, or with alternating layers of substances with high and low refractive indexes. For the synthesis of pearlescent pigments the mica should be used in very fine particle sizes below $50\ \mu\text{m}$. However, the reduction of particle size of the muscovite mica without destroying its crystals is an important task to release impurities and preserve the optical and mechanical characteristics of the mineral, necessary for the use on pearlescent pigments. The exploitation of pegmatites from the Borborema-Seridó region (PB-RN) has as main products a muscovite concentrate, which concentration process is based on hand sorting, comminution and classification. The product (+15 mm) is widely used in the insulation industry and supply the regional market. The waste of this process, the waste mica (-15 mm) has no industrial application. Thus, it is important to evaluate the possibility of any industrial application for this waste, enabling the reduction of environmental liabilities and increase economic opportunities for the region. The results of comminution tests using different mills point out to the possibility of production of a suitable mica concentrate (particle size distribution and morphology) to be used in the pigments industry.

KEYWORDS: muscovite, waste-mica, grinding, pearlescent pigments.

1. INTRODUÇÃO

Os pigmentos perolizados são compostos de mica revestida por camadas bem finas de óxidos de titânio ou de ferro; o brilho perolizado deve-se ao efeito ângulo dependente, proveniente da transmissão da luz através das camadas transparentes de óxidos metálicos sobre substratos minerais com diferentes índices de refração.

O maior consumo global de pigmentos perolizados da atualidade é baseado em produtos com a combinação óxido metálico-mica. O uso comercial de pigmentos a base de mica data dos anos de 1960, com a patente da Du Pont, a qual foi posteriormente aprimorada pelas empresas Mearl e Merck. O pigmento mica-titânia é o mais utilizado industrialmente, devido à sua estabilidade química (LIU *et al.*, 2015). Esse pigmento consiste em lamelas de mica recobertas por dióxido de titânio (e algumas vezes outros por óxidos metálicos de transição) e seu efeito perolado ocorre

porque as partículas transparentes de mica permitem que parte da luz incidente seja transmitida. O efeito perolizado é fortemente influenciado pelo tamanho das partículas da mica; ou seja, quanto maior a partícula, maior é o brilho; partículas muito finas promovem o efeito acetinado (LINHARES, 2014).

A muscovita tem grande aplicação como substrato na produção de pigmentos perolizados a base de TiO_2 , com uso frequente na produção de plásticos, tintas e cosméticos. Essa aplicação requer algumas características específicas da mica, que será utilizada como matéria prima, que são a morfologia arredondada, granulometria menor que $50 \mu\text{m}$ e limitação nos teores de óxidos de ferro ($\text{Fe}_2\text{O}_3 < 1,0\%$), conforme reportado por Barros *et al.* (2005).

Todavia, é sabido que alguns tipos de moinhos (bola, barra, moinhos vibratórios) podem promover a redução de tamanho das partículas, mas também podem produzir outros efeitos sobre silicatos lamelares. Estes efeitos incluem amorfização (perda da estrutura cristalina), agregação ou modificação das propriedades superficiais, e ainda perda de flexibilidade e da natureza lubrificante do mineral. Daí a necessidade de uso de moinhos especiais, além de maior tempo de moagem para a obtenção dos produtos desejados, resultando em produtos de maior valor agregado, devido à especificidade das suas propriedades e ao elevado custo de processo (SANTOS *et al.*, 2011).

2. OBJETIVO

Avaliar os produtos de moagem provenientes de três tipos diferentes de moinhos, para verificar a adequação das características das amostras de mica moída, como granulometria e estrutura cristalina, à produção de pigmentos perolizados.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização das amostras

As amostras de minério, antes e após a moagem, foram caracterizadas pelas técnicas de microscopia eletrônica de varredura, em microscópio Leica; análise termogravimétrica e térmica diferencial em ar, com sistema analisador automático Térmica TG/DTA *Instruments*, a uma taxa de aquecimento de $10^\circ\text{C}/\text{min}$, na faixa de 25 e 1200°C ; difratometria de raios-X, em um difratômetro Bruker D5005-AXS a 35 kV e 40 mA, com radiação $\text{CuK}\alpha$; foi utilizado o banco de dados comparativo PDF02 (ICDD, 1996); para a determinação da distribuição de tamanho de partículas foi utilizada a técnica de difração a laser, utilizando o equipamento Mastersizer 2000 (*Malvern Instruments*). A

composição química das amostras foi determinada por espectrometria de fluorescência de raios-X, em espectrômetro Bruker S4.

3.2 Moagem da mica

A moagem é considerada a etapa mais crítica do processo de beneficiamento das micas, pois embora existam vários tipos de moinhos que possibilitam a moagem fina deste mineral, muitos deles promovem a destruição da estrutura microscópica da mica, devido às forças de impacto e atrição envolvidas no processo de moagem. Em alguns casos, podem promover alteração da fase cristalina ou até amorfização da amostra, o que é indesejado para a aplicação na fabricação de pigmentos perolizados.

Devido à característica de plasticidade das micas, bem como a granulometria natural da mica lixó (-15 mm), o material foi inicialmente moído até granulometria menor que 5 mm – moagem primária - e, em seguida, concentrado por mesagem, para remoção dos minerais contaminantes. O concentrado da mesa, rico em muscovita, foi submetido a moagem secundária, até uma granulometria menor que 45 μm , apropriada para uso na indústria de pigmentos. A moagem primária foi realizada em três tipos de moinhos os quais são apresentados na Figura 1.

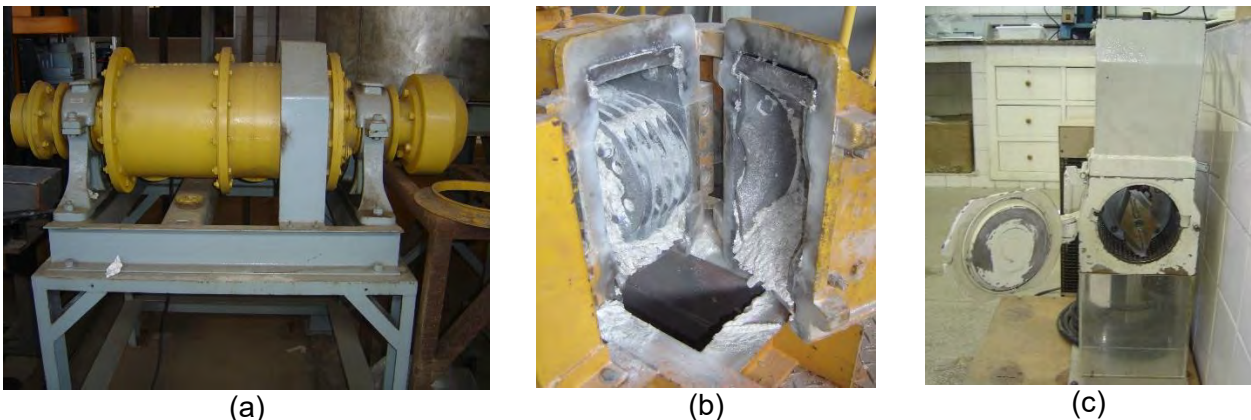


Figura 1 – Moinhos utilizados na moagem primária a seco: (a) barras, (b) martelos e (c) facas.

Para a moagem secundária foram utilizados moinhos apropriados à moagem fina de material: bolas (a seco), barras (a úmido e a seco) e, como alternativa, o moinho de facas /liquidificador (a seco e a úmido), conforme apresentados na Figura 2. A granulometria de interesse neste caso é abaixo de 45 μm , referida como a faixa de tamanhos de mica micronizada, a qual somente tem sido alcançada com uso de moinhos de alta energia como o *Jet Mill* e o moinho de bolas planetário (ANDRIĆ *et al.*, 2013).



Figura 2 – Moinhos utilizados na moagem secundária: (a) de barras, (b) de bolas e (c) de facas adaptado

As condições operacionais das moagens primária e secundária estão listadas na Tabela 1 (SANTOS, 2009).

Tabela 1. Moinhos utilizados e condições experimentais da moagem

Moagem	Tipos de moinho	Circuito de moagem	Outras Observações
Primária	Moinho de barras (piloto)	circuito aberto moagem a úmido	sem grelha de saída
	Moinho de facas (piloto)	circuito aberto moagem a seco	grelha de saída: abertura de 5 mm
	Moinho de martelos (piloto)	circuito aberto moagem a seco	grelha de saída: abertura de 2 mm
Secundária	Moinho de bolas (laboratório)	batelada moagem a seco	500 g, 70 rpm, 2 h
	Moinho de barras (laboratório)	batelada moagem a seco e a úmido	60 e 100 rpm, 1 e 2h massas: 334g, 52g polpas: 5, 15, 25, 30, 50%
	Moinho de facas (laboratório)	batelada moagem a seco e a úmido	10.000 rpm, 10 min massas: 20 e 50 g polpas: 15 e 30%

3.3 Sonicação

A utilização de ondas ultrassônicas pode auxiliar na desagregação e delaminação das folhas ou placas da estrutura da mica, com o objetivo de reduzir a sua espessura. Para tanto, foram preparadas polpas de mica moída (após a moagem secundária) e submetidas às ondas de ultrassom em equipamento da *Sonics and Materials*, composto por uma ponteira sólida em titânio conectada a uma cerâmica piezoelétrica, a 20 KHz e 500 W, conforme descrito em Santos (2009).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de análise granulométrica dos produtos da moagem primária da muscovita nos três tipos de moinhos citados são mostrados na Tabela 2. Pode ser observado que nos três moinhos foi possível obter um produto com 90% da massa com granulometria abaixo de 4 mm (4000 μm), adequado para os ensaios de concentração e moagem secundária. O moinho de barras gerou maior quantidade de finos, porém o produto apresentou contaminação por óxidos de ferro, possivelmente proveniente da carcaça interna do moinho; por isso, a opção de moagem em barras foi descartada.

Tabela 2. Resultados dos ensaios de moagem primária nos moinhos de barras, martelos e facas.

Abertura de peneira (mm ou $10^{-3} \mu\text{m}$)	Passante (%)		
	Moinho de barras	Moinho de martelo	Moinho de facas
4,00	100,00	94,41	100,00
3,36	99,94	91,82	98,99
2,38	95,47	79,89	63,15
1,68	86,89	67,98	45,94
Finos (-0,045)	5%	4%	1%

A moagem em moinho de facas foi utilizada como rota alternativa à moagem da mica, já que é um tipo de moinho mais barato e de mais fácil operação do que o de martelos; além do mais esse tipo de moinho é largamente utilizado para moagem de materiais com elevada plasticidade, como garrafas de PET – poliestireno tereftalato e outros polímeros (DOCAR, 2007). Verificou-se a pequena geração de material fino e um produto com aspecto visual similar ao produzido no moinho de martelos. Na Figura 3 são apresentados os produtos de moagem obtidos nos três diferentes moinhos.

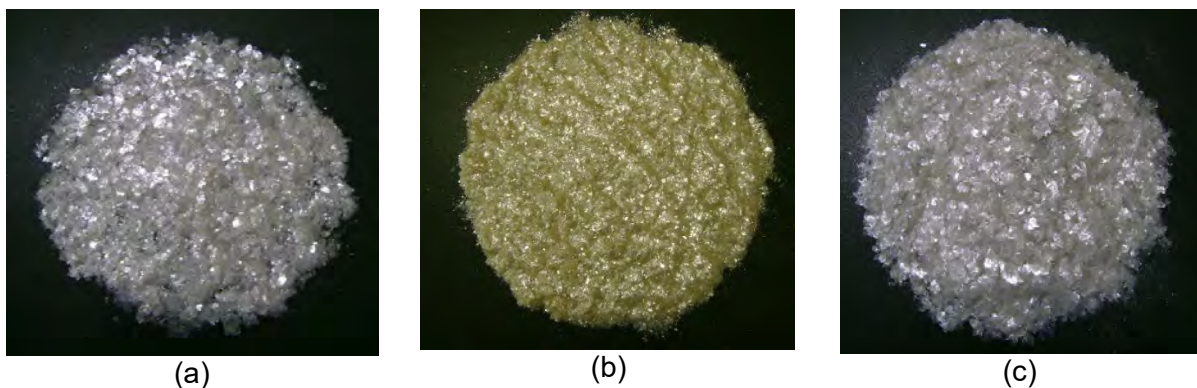


Figura 3. Aspecto visual dos produtos dos moinhos de martelos (a), barras (b) e facas (c).

Os produtos dos moinhos de martelo e facas apresentam-se bem semelhantes; para o produto do moinho de barras (b), nota-se uma coloração amarelo-dourada, devido à possível contaminação por ferro, conforme parâmetros de análise colorimétrica realizados por Santos (2010).

De maneira geral, os resultados obtidos nesse trabalho mostram que os métodos convencionais de moagem não atendem à produção de mica ultrafina, devido à sua estrutura lamelar altamente plástica. Observou-se que para os processos de moagem com bom rendimento (mais de 70% das partículas passantes em 45 μm), a morfologia do produto moído apresenta alterações indesejáveis, como foi o caso do produto da moagem a seco em moinho de barras, que apresentou 66% das partículas com granulometria abaixo de 45 μm , porém a amostra ficou completamente opaca. Quando a estrutura da lamela é preservada, o rendimento do processo de moagem é baixo, com cerca de 40% das partículas com tamanho menor do que 45 μm .

Os produtos de cada moinho foram avaliados morfologicamente, conforme apresentado nas micrografias da Figura 4. Apresenta-se, ainda, micrografia da mesma amostra de muscovita moída em moinho vibratório, em trabalho desenvolvido anteriormente por Cavalcante *et al.* (2007).

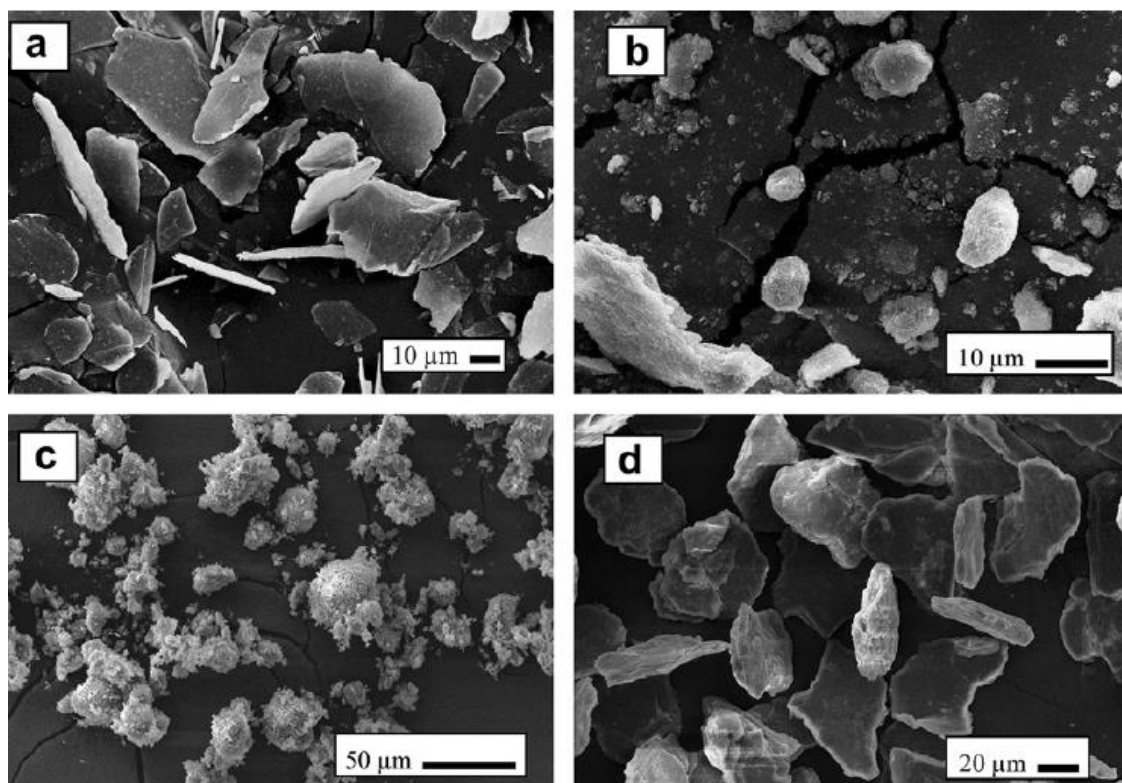


Figura 4. Micrografias dos produtos da moagem secundária em moinhos de facas (a), bolas (b), vibratório (c) e barras (d) - (SANTOS *et al.*, 2011; CAVALCANTE *et al.*, 2007)

Apesar do baixo rendimento na moagem (35%) com moinho de facas em relação à granulometria de interesse, este equipamento foi o que gerou os melhores produtos. Cabe, ainda, ressaltar que o rendimento em granulometria inferior a 100 μm foi em torno de 70% para moagem a seco (moinho de facas de laboratório). Esse é um resultado significativamente satisfatório, uma

vez que para se obter produtos com tal faixa granulométrica há a necessidade de utilização de moinhos de alta energia. Na Figura 5 são apresentadas micrografias de amostra de mica moída em moinho de facas, produzida nesse trabalho (Santos, 2010) e uma amostra de mica micronizada comercial (WG325), produzida pela Zemex Cooperation/USA.

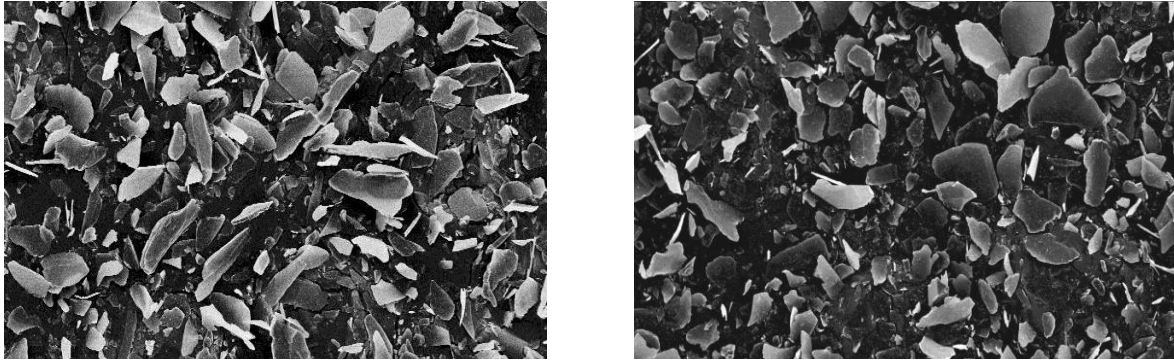


Figura 5. Micrografias de amostras de muscovita moída (-45 μm): (a) produto do moinho de facas (liquidificador) a seco; (b) amostra de referência WG325/Zemex.

O aspecto morfológico das duas amostras é bem semelhante, assim como a distribuição de tamanho de partículas, realizada por difração a laser. Nota-se na Figura 6 que a distribuição de tamanhos dos dois produtos é bastante similar, com partículas entre 45-100 μm e diâmetro médio [D(0,5)] em torno de 35 μm . A presença de partículas com granulometria superior a 45 μm é atribuída a possíveis aglomeração dos finos e a efeitos estereológicos das partículas de mica.

Ainda como resultados de morfologia, foi observado que a espessura média das partículas de muscovita era de 1 a 5 μm e esses valores estão acima do especificado para a produção de pigmentos (0,2 – 1 μm). Dessa forma, procedeu-se com o tratamento da amostra com ondas ultrassônicas, conforme metodologia de Santos (2010), promovendo a delaminação da mica e a produção de partículas com espessuras menores que 1 μm .

As duas amostras (muscovita e WG325) foram ainda submetidas a avaliação quanto à área superficial pelo método de BET. Os valores encontrados foram inferiores a 10 m^2/g , que possivelmente corresponde a granulometria na faixa de 20-40 μm , conforme observado por Cavalcante *et al.* (2007).

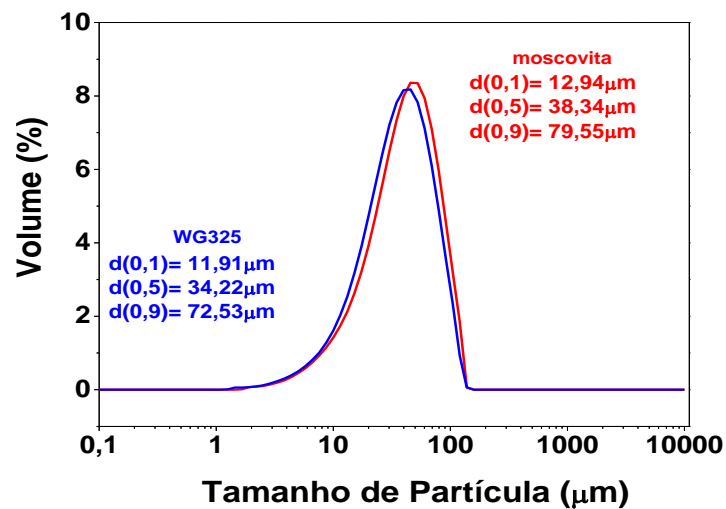


Figure 6. Distribuição de tamanho de partículas: (a) muscovita moída (moinho de facas) e (b) amostra de referência WG325.

Os resultados de distribuição de tamanho de partícula e área superficial são animadores, tendo em vista a expectativa de aplicação deste produto na síntese dos pigmentos perolizados, pois, conforme revisado na literatura por Santos (2010), geralmente é utilizada mica em uma faixa granulométrica de 10-45 μm , ao invés do material com distribuição de tamanho de partícula muito estreita (40-45 μm).

Outros trabalhos da literatura também reportam o potencial da mica do Seridó para aplicação na indústria de pigmentos, como Valdivieso e Silva (2011). Os autores realizaram ensaios de micro-moagem de mica utilizando um moinho vibratório modelo SPEX, seguida de clareamento químico para remoção dos óxidos de ferro presentes. Os resultados mostraram que é possível obter uma mica com granulometria abaixo de 45 μm e teores de ferro menores do que 0,6% FeO, por meio de clareamento por intercalação e troca iônica com sais de potássio, reforçando a possibilidade de uso dessa mica beneficiada na indústria de pigmentos.

5. CONCLUSÕES

A cominuição da mica em duas etapas de moagem a seco, proposta e avaliada nesse trabalho, proporcionou ganho de tempo e redução de custos de processo, pois propõe: i) o uso de moinhos de facas, pouco difundido na pequena mineração e de fácil operação; ii) a eliminação da etapa de secagem, além de possibilitar a obtenção de um produto com menor grau de aglomeração, devido à umidade intrínseca no material; iii) o processo leva à produção de um concentrado de mica com granulometria inferior a 100 μm e rendimento na moagem em torno de 70%; iv) para a mica ainda

mais fina, com granulometria menor do que 45 μm , o rendimento da moagem é menor, em torno de 35%, porém as características de cristalinidade e perolização são preservadas; v) finalmente, a aplicação de ondas ultrassônicas auxilia na delaminação da mica, promovendo a produção de partículas com espessuras na faixa de 0,5-1 μm . Tais características são, geralmente, obtidas na indústria com o uso de moinhos com jato pressurizado de ar (*jet mill*), de elevado custo operacionais e difícil manuseio.

A rota de moagem com moinhos de facas, apresentada nesse trabalho, propicia a produção de um concentrado micronizado de mica de maior valor agregado, com potencial aplicação na fabricação de pigmentos, o que se reflete em oportunidades de mercado para os pequenos produtores de mica da região Borborema-Seridó.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRIĆ, L., TERZIĆ, A., AĆIMOVIĆ-PAVLOVIĆ, Z., TRUMIĆ, M., PETROV, M., PAVLOVIĆ, L. A kinetic study of micronization grinding of dry mica in a planetary ball mill. **Advances in Materials Science and Engineering**, volume 2013, article ID 543857 (2013), 6 pages.
- BARROS, F.M.; CAVALCANTE, P.M.T.; ANDRADE, M.C.; SAMPAIO, J.A.; LUZ, A.B. Beneficiamento do rejeito de moscovita da região do Seridó-Borborema (NE) para aproveitamento industrial. *In: Anais do XXI ENTMME, Natal-RN (2005)*, p.199-205.
- CAVALCANTE, P.M.T.; BONDI, M.; GUARINI, G; BARROS, F.M.; LUZ, A.B. Ceramic application of mica titania pearlescent pigments. **Dyes and Pigments**, vol. 74 (2007), p. 1-8.
- DOCAR, M. Knife mill for use in grinding of material, has rotor rotationally fixed to its housing with specific angle and flat rotor knife with different inclination. Patent number(s): WO2007011316-A2, WO2007011316-A3 (2007), USA.
- LINHARES, H. O papel da mica no pigmento perolizado. *In: <http://www.moinhopiramide.com.br/moagem/como-reduzir-custos/o-papel-da-mica-no-pigmento-perolizado>*, (2014). Acessado em 11/02/2016.
- LIU, C.; YE, M.; HAN, A.; Li, J. Structural analysis and characterization of doped spinel $\text{Co}_{2-x}\text{M}_x\text{TiO}_4$ ($\text{M}=\text{Mg}^{2+}$, Mn^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} and Zn^{2+}) coated mica composite pigments. **Ceramics International**, vol.41 (2015), p. 5537-5546.
- SANTOS, S.F. Síntese de pigmentos perolizados à base de mica moscovita do Seridó. Tese (doutorado), Rio de Janeiro-RJ, UFRJ/COPPE/PEMM (2009), 87p.
- SANTOS, S.F.; FRANÇA, S.C.A.; OGASAWARA, T. Method for grinding and delaminating muscovite. **Mining Science and Technology (China)**, vol. 21, (2011), p. 7-10.

VIEIRA, E.V.; SILVA, E.E.P. Caracterização do rejeito de beneficiamento de mica da Paraíba objetivando a fabricação de cosméticos. **Ambiente Mineral - Revista Brasileira de Mineração e Meio Ambiente**, vol. 1 (2010), p. 55-61.

VALDIVIEZO, E.; SILVA, E.E.P. Aproveitamento de resíduos da extração de moscovita do estado da Paraíba visando aplicações industriais. **Anais do XXIV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**, Salvador-BA, UFBA, (2011), p. 923-930.

ESTUDOS DA ROCHA POTÁSSICA E APLICAÇÃO COMO FERTILIZANTE ALTERNATIVO DE POTÁSSIO

Thuanny H. Soares^{1,2}, Adão Benvindo da Luz², Adriana Soeiro S. Felix¹, Ranielle S. S. Dias³

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro – Av. República do Paraguai, 120, Vila Sarapui, 25050-100 Duque de Caxias – RJ (Brasil)

thuanny_t3@hotmail.com; adriana.soeiro@ifrj.edu.br; www.ifrj.edu.br

² Centro de Tecnologia Mineral CETEM- Av. Pedro Calmon, 900, Cid. Universitária, 21941-908 Rio de Janeiro - RJ (Brasil)

adaobluz@cetem.gov.br; tsoares@cetem.gov.com; www.cetem.gov.br

³ Escola de Química - Universidade Federal do Rio de Janeiro
ranielledias@hotmail.com

RESUMO

Sabe-se que o Brasil é uma das maiores potências agrícolas do mundo, mas devido ao intemperismo químico e características climáticas, os solos brasileiros se tornam pobres e deficientes nos nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas. Dessa forma é necessária a busca de fontes alternativas de potássio para aplicação na agricultura. Diante desse cenário, esse trabalho tem como objetivo principal, estudar a possibilidade de aplicação de uma rocha potássica de Poços de Caldas, MG, como fonte alternativa para a obtenção de fertilizante. Para tanto, foram realizados estudos de caracterização química e mineralógica da amostra pelas técnicas de difração e fluorescência de raios X e espectroscopia de absorção atômica por chama. Com base nos resultados obtidos, foi possível verificar que a rocha é constituída pelos minerais microclínio, ortoclásio, muscovita, gibbsita, sanidina e hematita e é composta quimicamente por SiO₂, Al₂O₃, K₂O, com 47,90, 18,00 e 9,20% em massa, respectivamente. Estudos preliminares mostram que a rocha potássica tem o teor de 2% de potássio na forma disponível para as plantas. Sendo assim, com o objetivo de aumentar o teor de potássio disponível para as plantas, ensaios de moagem da rocha com CaO, em diferentes proporções, por meio úmido, seguido de calcinação e extração em ácido cítrico 1,0 mol/L foram realizados. Os ensaios de moagem/calcinação visam aumentar o teor de potássio disponível, por meio da formação de estruturas mais solúveis, nas quais os íons potássio estarão inseridos.

PALAVRAS-CHAVE: rocha potássica; fontes alternativas; fertilizantes; potássio.

ABSTRACT

Brazil is one of the main agriculture producers of the world. Due to chemical weathering and climatic characteristics, brazilian soils became poor and deficient in the essential nutrients for development of plants. Therefore it is necessary to look for alternative sources of potassium for applying in the agriculture. In this context, this work aids to study the possibility of applying a potassium rock from Poços de Caldas-MG, as an alternative source for fertilizer production. To achieve this goal, samples of potassium rocks have been characterized in terms of chemistry and mineralogy by using X-Ray diffraction and X-Ray fluorescence and atomic absorption. From these results it was identified the minerals as follow: microcline, orthoclase, muscovite, gibbsite, sanidine and hematite. The rock chemical composition is: 47.90 % SiO₂, 18.00% Al₂O₃ and 9.20 % K₂O. Preliminary studies showed that potassium rock presented just 2% K available for the plants. In this context, in order to increase the K grade for the plants, wet grinding tests of the rock with CaO in different proportions followed by calcining and K extraction in citric acid 1.0 mol/L were carried out. The grinding and calcining tests have been conducted to increase the grade of available potassium through the formation of more soluble structures, in which the K will be in it .

Keywords: potassium rock, alternative source, fertilizer, potassium

1. INTRODUÇÃO

Historicamente, a agricultura é uma das principais bases da economia do país. No entanto, o território brasileiro, na sua maior parte, é constituído por solos ácidos, devido, principalmente ao clima tropical, em que as altas temperaturas e a intensidade de chuvas favorecem a rápida decomposição das rochas que compõem o solo. Assim, para tornar os solos produtivos, são utilizadas quantidades elevadas de fertilizantes, o que torna o Brasil um dos grandes consumidores do mundo, principalmente em relação aos fertilizantes a base de potássio. (MARTINS et. al.,2008). Nesse contexto, é necessário o desenvolvendo de estudos em laboratório, visando manipular as propriedades físico-químicas dos minerais e rochas, de maneira a torná-los aproveitáveis como fertilizantes alternativas.

2. OBJETIVO

O propósito deste trabalho foi realizar estudos de caracterização química e mineralógica, ativação mecanoquímica da rocha potássica de Poços de Caldas, MG com 10 e 30% de CaO seguido de tratamento térmico nas temperaturas de 600 a 1000°C, assim como, estudar a

possibilidade de aplicação como fonte alternativa para a obtenção de fertilizante, visando sua aplicação na agricultura como fertilizante alternativo de liberação lenta do nutriente potássio.

3. METODOLOGIA

Para realização desse estudo a rocha potássica foi recebida no Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, é proveniente da Mineração Curimbaba, localizada no município de Poços de Caldas – Minas Gerais. Essa rocha foi britada, homogeneizada, quarteada para que assim fosse submetida ao ensaio de ativação mecanoquímica em moinho de barras. Antes dos ensaios de ativação/calцинаção, a amostra foi caracterizada por difração de raios X (DRX) e fluorescência de raios X (FRX).

A ativação foi realizada por 1h após a adição de CaO, nas proporções de 10 e 30% em massa. Após a ativação, as amostras foram calcinadas nas temperaturas de 600°C, 700°C, 800°C, 900°C e 1.000°C em cadinhos de porcelana, utilizando forno mufla durante 1h, seguido de resfriamento brusco por contato direto com água destilada à temperatura ambiente.

Os produtos da calcinação foram submetidos a ensaios de extração. Para tanto, foram utilizados 5,0g de amostra que foram transferidos para um erlenmeyer contendo 50 mL de solução de ácido cítrico 1,0 mol/L. Esses ensaios foram realizados em mesa agitadora, durante um período de 3,0 h, em temperatura ambiente. Após o tempo de residência na mesa agitadora, a solução ácida foi filtrada e o teor de potássio em solução foi determinado utilizando-se a técnica de absorção atômica (AA). O sólido remanescente da extração foi caracterizado por difração de raios X (DRX).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 observa-se o difratograma de raios X da rocha potássica. Com base no difratograma, foram identificados os seguintes minerais constituintes da rocha potássica: microclínio (KAlSi_3O_8), ortoclásio (KAlSi_3O_8) e muscovita ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$). Os minerais microclínio e ortoclásio (feldspatos) e muscovita (mica) são aluminossilicatos de estrutura tetraédrica, tectossilicato (estrutura tridimensional) e filossilicato (estrutura de cadeia e camadas), respectivamente. Além disso, também constituem a rocha potássica os minerais gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$), sanidina (KAlSi_3O_8) e hematita (Fe_2O_3).

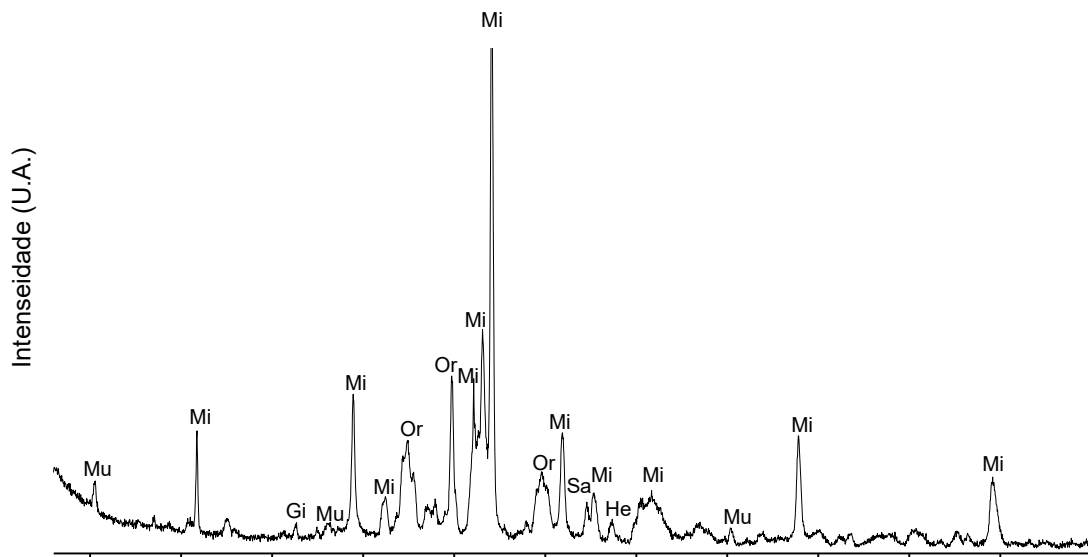


Figura 1: Difratograma de raios X, CoK α , para a rocha sienito onde, Mu = Muscovita ((K,Na)(Al,Mg,Fe)₂(Si_{3,1}Al_{0,9})O₁₀(OH)₂), Mi = Microclínio (KAlSi₃O₈), Or = Ortoclásio (KAlSi₃O₈), Gibbsita (Al(OH)₃), Sanidina (KAlSi₃O₈) e Hematita (Fe₂O₃).

De acordo com a avaliação dos resultados de fluorescência de raios X, Tabela 1, pode-se afirmar que a rocha potássica é composta quimicamente por SiO₂, Al₂O₃, e K₂O, com 47,90, 18,00 e 9,20% em massa, respectivamente. O teor de óxido de potássio (9,20%) pode ser atribuído à existência dos minerais microclínio, ortoclásio e muscovita, que são os minerais portadores de potássio e constituintes da amostra. No entanto, por questões estruturais, nem todo o nutriente está prontamente disponível às plantas. Sendo assim, foram realizados experimentos de extração com a finalidade de determinar a porcentagem solúvel desse nutriente para a planta. Os resultados obtidos em estudos anteriores (DIAS, 2014) mostraram que o teor de potássio solúvel é da ordem de 2%. Sendo assim, foram realizados experimentos de ativação mecanoquímica com CaO em moinho de barras, seguido de calcinação em diferentes temperaturas, com a finalidade de alterar a estrutura dos minerais constituintes da mesma aumentando assim o teor de potássio solúvel nas amostras.

De acordo com estudos preliminares, o aumento ou a diminuição nos teores de potássio solúvel nas amostras, está relacionado com a formação de diferentes redes vítreas com composições variadas (SOARES *et. al.*, 2015).

A variabilidade da composição dessas estruturas está relacionada diretamente com a quantidade de íon Ca^{2+} que foi incorporada por esta rede, durante o processo de calcinação (FELIX, 2014). Portanto, com o objetivo de aumentar a solubilidade das redes formadas pela incorporação do íon Ca^{2+} , após a calcinação, foram adicionadas diferentes porções de CaO nas amostras. Com base na literatura, o íon Ca^{2+} é um modificador de rede vítrea, ou seja, esse íon aumenta a solubilidade da rede quando incorporado por ela (FELIX, 2014).

Tabela 1 – Composição química da amostra de rocha potássica utilizada nos ensaios obtida por FRX.

Óxidos	% em massa	Óxidos	% em massa
SiO_2	47,90	P_2O_5	3,80
Al_2O_3	18,00	MgO	1,30
K_2O	9,20	TiO_2	0,77
Fe_2O_3	5,40	Na_2O	0,52
CaO	4,00	MnO	0,39

Pela análise dos resultados de extração apresentados na Tabela 2, pode-se perceber que em alguns casos houve um aumento no teor de potássio solúvel em relação ao resultado inicial, que foi de 2%.

Quando a amostra foi ativada com adição de 10% de CaO, pode-se perceber que após a calcinação a 600 °C o teor de potássio solúvel passa de 2 para 0,61% e após a calcinação a 900°C houve um aumento de 2 para 11,27% de K_2O , ou seja, resultado maior que aquele obtido para a rocha *in natura*.

Após a ativação da rocha com adição de 30% de CaO, o resultado menos expressivo ocorreu após a calcinação a 600°C. Nessa temperatura, o teor de potássio solúvel passa de 2 para 0,70%. Pode-se notar, além disso, que após a calcinação da rocha a 900°C houve um aumento de 2 para 7,9% de K_2O .

Tabela 2: Resultados de extração em ácido cítrico 0,1 mol/L para as amostras calcinadas

	(% de K extraído em relação ao valor total contido na rocha)				
	Temperatura (°C)				
% CaO	600	700	800	900	1000
10	(0,61%)	(0,91%)	(2,12%)	(11,27%)	(6,28%)
30	(0,70%)	(1,23%)	(3,72%)	(7,9%)	(7,71%)

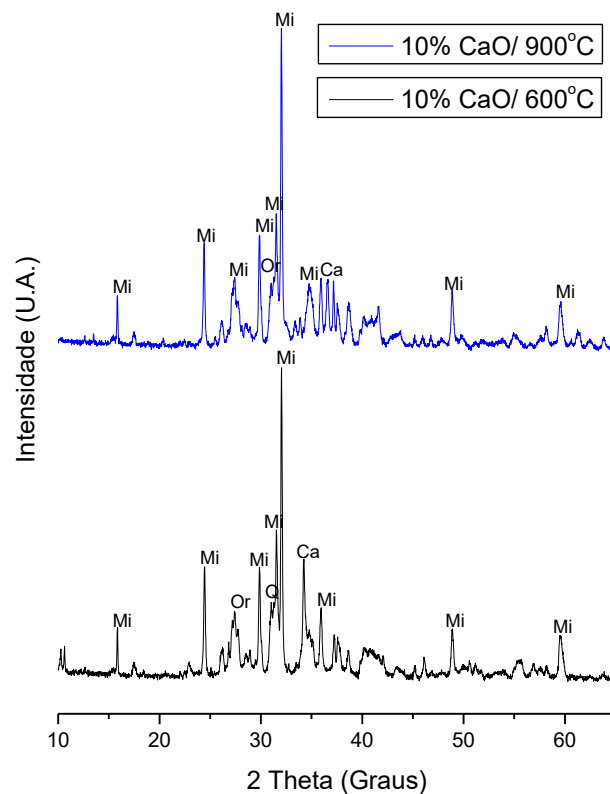


Figura 2 Difratograma de raios X, $\text{CoK}\alpha$, para as amostras calcinadas a 600 e 900°C com adição de 30% de CaO, onde Mi = Microclínio (KAlSi_3O_8), Q = Quartzo (SiO_2), Ca = Calcita (CaCO_3) e Or = Ortoclásio (KAlSi_3O_8).

Os eventos descritos anteriormente estão relacionados a alterações estruturais sofridas pela rocha após os ensaios de moagem e calcinação. Para a compreensão dessas alterações serão apresentados a seguir os resultados de caracterização obtidos por meio da técnica de difração de raios X (DRX).

Na Figura 2, na qual constam os difratogramas de raios x para as amostras calcinadas a 600 e 900°C, após a ativação da rocha com 10% de, pode-se notar que as intensidades relativas dos picos principais do mineral microclínio são semelhantes, indicando que houve baixa incorporação

de potássio na fase vítrea de modo semelhante nas duas temperaturas. Além disso pode-se observar que quando a amostra é calcinada a 600°C há ocorrência de picos relativos a fase, calcita (CaCO_3) com maior intensidade.

Comparando a intensidade dos picos referentes a esses minerais nos difratogramas, pode-se dizer que o íon Ca^{2+} foi incorporado em menor intensidade a 600°C pela estrutura vítrea das amostras, permanecendo na estrutura cristalina, contribuindo para a baixa solubilidade do potássio nessa amostra.

Além disso, pode-se perceber que quando a amostra é calcinada a 600°C, após a ativação da rocha com 10%, há ocorrência do pico referente ao quartzo (SiO_2). De acordo com SILVA *et. al.* (2012), sabe-se que materiais vítreos com alto teor de sílica têm baixa solubilidade. Dessa forma, a formação de material amorfo seguido de alta incorporação de sílica e potássio é responsável pela diminuição de solubilidade do íon, o que justifica a diminuição de solubilidade do potássio nessa amostra em relação à rocha *in natura*.

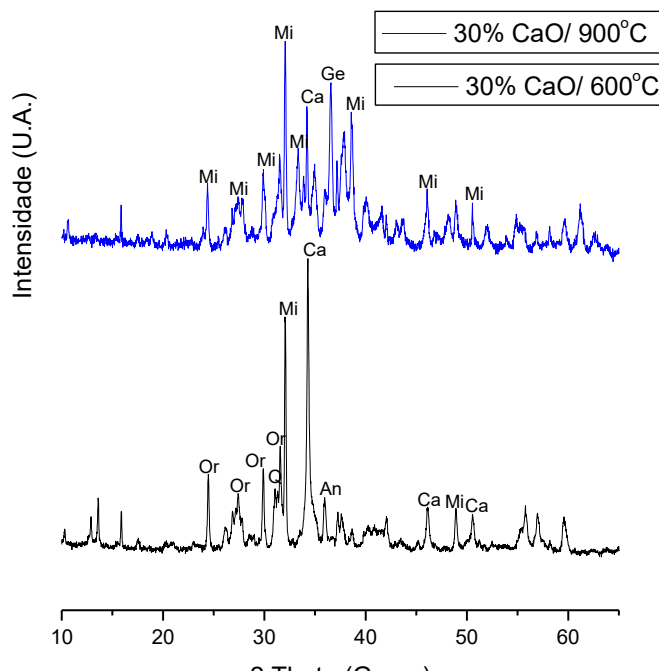


Figura 3: Difratograma de raios X, $\text{CoK}\alpha$, para as amostras calcinadas a 600 e 900°C com adição de 30% de CaO , onde Mi = Microclínio (KAlSi_3O_8), Ca = Calcita (CaCO_3), Q = Quartzito (SiO_2), Ge = Gehlenita ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$), An = Ankerite $\text{Ca}(\text{Fe}^{+2}, \text{Mg})(\text{CO}_3)_2$ e Or = Ortoclásio (KAlSi_3O_8).

Na Figura 3, são apresentados os difratogramas de raios X das amostras calcinadas a 600 e 900°C após a ativação da amostra com 30% de CaO . Comparando os difratogramas pode-se perceber que quando a amostra é calcinada a 600°C há a ocorrência de fases cristalinas como microclínio

(KAlSi_3O_8), ortoclásio (KAlSi_3O_8) e calcita (CaCO_3). Quando a amostra é calcinada a 900°C as fases obtidas são as mesmas que a 600°C mas com intensidades diferentes, ou seja, a 600°C os picos referentes a calcita são maiores do que a 900°C , indicando que houve menor incorporação de íon Ca^{2+} na fase vítrea, que é um íon modificador de rede, para estruturas vítreas. Por outro lado, quando a amostra é calcinada a 900°C há desestruturação da fase mineral microclínio. Sendo assim, nessa temperatura não houve incorporação de potássio para estrutura vítrea e sim, a manutenção do potássio em fase cristalina que foi desestabilizada pela calcinação, sendo assim o íon fica mais acessível, aumentando o teor de potássio solúvel, disponível na rocha. Além dessas observações, quando a amostra é calcinada a 900°C a intensidade do pico referente a Gehlenita ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$) também é intenso, o que indica que nessa temperatura, houve maior incorporação do íon Ca^{2+} na fase cristalina.

5. CONCLUSÕES

Como em trabalhos anteriores foi possível perceber que a rocha potássica *in natura* apresentava baixa solubilidade para o íon potássio, estudos de ativação mecanoquímica da rocha com CaO seguido de calcinação, foram realizados para aumentar a solubilidade desse íon. Sendo assim, nesse trabalho, conclui-se que quando a amostra passa pelo processo de ativação mecanoquímica, a solubilidade do nutriente potássio nas amostras obtidas aumenta de maneira considerável. Após a ativação da amostra e calcinação a 900°C percebeu-se um aumento de 2 para 11,27% de solubilidade, em termos de potássio, para essa amostra. Dessa maneira, pode-se afirmar que é possível obter fertilizantes alternativos de potássio, utilizando processos economicamente viáveis, por meio de ativação mecanoquímica, já que o resultado mais apreciável ocorreu na temperatura de 900°C com 10% de CaO.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de iniciação científica, ao CETEM pela infraestrutura laboratorial e a COAM pelas análises de absorção atômica e difração de raios X.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DIAS, R.S., Caracterização de Rocha Potássica Visando sua Aplicação como Fertilizante. Projeto Final de Curso – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (Brasil), 2014, p. 33-35.

FELIX, A.A.S., Síntese e Caracterização Estrutural de Materias com Liberação Controlada de Potássio. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (Brasil), 2014, 126p.

LAPIDO-LOUREIRO, F. E., & NASCIMENTO, M. Fertilizantes: Agroindústria & Sustentabilidade; Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral; Importância e Função dos Fertilizantes numa Agricultura Sustentável e Competitiva, 2009, p. 81-123.

LUZ, A. B.; LAPIDO-LOUREIRO, F. E; SAMPAIO, J. A.; CASTILHOS, Z. C.; BEZERRA, M. S. (2010). Rochas, Minerais e Rotas Tecnológicas para Produção de Fertilizantes Alternativos. In: Agrominerais para o Brasil; Francisco Fernandes, Adão B. Luz e Zuleica Castilhos (Editores), CETEM/MCT, 2010.

SILVA, A.A.S., MEDEIROS, M.E., SAMPAIO, J.A., GARRIDO, F.M.S., Verdete de Cedro do Abaeté como fonte de potássio: caracterização, tratamento térmico e reação com CaO, Revista Matéria, 2012, v.17 (3), p. 1061-1073.

SILVA, A.A.S., SAMPAIO, J.A., LUZ, A.B., FRANÇA, S.C.A., RONCONI, C.M., “Modeling controlled potassium release from phlogopite in solution: Exploring the viability of using crushed phlogopite rock as an alternative potassium source in brazilian soil”, *Journal of Brazilian Chemical Society*, 2013, v.24 (8), p. 1366-1372.

SOARES, T.H., SILVA, A.A.S., LUZ, A.B., Ensaio de Moagem e Reação com Cálcio da Rocha Sienito para Aplicação na Agricultura, XXIII Jornada de Iniciação Científica, CETEM/2015.

VAN STRAATEN, P. Rochas e Minerais como Fertilizantes Alternativos na Agricultura: Uma Experiência Internacional. In: Agrominerais para o Brasil; Francisco Fernandes, Adão B. Luz e Zuleica Castilhos, CETEM/2010.

ETAPAS DE EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO DO SIENITO NA MINERAÇÃO CRAIBEIRA, UNIDADE DE PEDRA LAVRADA - PB

Francisco De Assis Souza¹, Antônio Renato Gadelha Brito², Antônio de Pádua C. de Lima Sobrinho³

¹ Geólogo MSC, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-IFPB, Campina Grande-PB,

E-mail: francisco.souza@ifpb.edu.br

² Técnico em Mineração, empresa Elisabeth S/A, Pedra Lavrada-PB

³ Técnico em Mineração, professor da Escola Estadual Padre Jenônimo Lowen, Santa Luzia-PB

RESUMO

Este Trabalho objetiva relatar as etapas de extração e beneficiamento do sienito na Mineração Craibeira, município de Pedra Lavrada, estado da Paraíba, para a industrialização de produtos cerâmicos e grés porcelanato pelo Grupo Elisabeth, localizada na cidade de João Pessoa. As atividades desenvolvidas abrangem desde o planejamento da malha de perfuração para o desmonte, plano de fogo, que permite quantificar a carga necessária ao desmonte, o tempo de ciclo, fundamental para o conhecimento da produção diária e do tempo de carga, transporte, descarga e retorno. A matéria prima é submetida a britagem primária e secundária para redução do tamanho dos blocos sieníticos, que passam a alimentar o pulmão de britas. As etapas posteriores são a moagem nos moinhos de martelos, secagem e separação magnética, para que o produto final fique pronto. Durante o processo de beneficiamento são realizados ensaios em laboratório para controle de qualidade com relação à cor e fusibilidade da matéria prima beneficiada.

PALAVRAS CHAVE: Sienito, Mineração Craibeira, Desmonte, Britagem, Moagem.

ABSTRACT

This Work aims to report the steps of extraction and processing of syenite in mining Craibeira, municipality of Pedra Lavrada, Paraíba State, for the industrialization of ceramics and porcelain of Elisabeth group, located in João Pessoa. Activities range from drilling to mesh the dismount, fire plan, which allows to quantify the load required to disassemble, cycle time, fundamental to the knowledge of the daily production and load time, transport, unloading and return. The raw

material is subjected to primary and secondary crusher for reduction of the size of the sienitic blocks, passing the feed breaks lung. The subsequent steps are the hammer mills grinding, drying and magnetic separation, so that the final product is ready. During the processing are performed in laboratory testing for quality control with respect to color and fusibility of raw material benefit.

KEYWORDS: Syenite, Craibeira Mining, Disassemble, Crushing, Grinding.

1. INTRODUÇÃO

O Presente Trabalho tem como objetivo descrever as atividades desenvolvidas em uma área de lavra e beneficiamento de sienito, situada na mina Craibeira, zona rural do município de Pedra Lavrada, Estado da Paraíba (PB), tendo como empresa responsável a Elizabeth Produtos Cerâmicos Ltda. Os trabalhos realizados envolveram o conhecimento mineralógico e geológico dos materiais a serem explorados, com base em Ameida, et.al., (1977). A metodologia de desenvolvimento da lavra abrange perfuração, desmonte, tempo de ciclo, ou seja, carregamento do material extraído da mina até a usina de beneficiamento, onde a matéria prima extraída passa pelo processo de beneficiamento que vai desde a britagem, moagem, até a separação magnética, para obtenção do produto final.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos desejados, foram desenvolvidas as seguintes atividades durante a execução deste trabalho:

- ✓ Análise dos trabalhos realizados, bem como pesquisa bibliográfica sobre a mineração de rocha sienítica e feldspatos na região (Jardim de Sá (1984), Souza, et.al. (2013, 2014);
- ✓ Reconhecimento das áreas de lavra em atividade;
- ✓ Trabalhos de campo visando a informações geológicas e a coleta de amostra para estudo;
- ✓ Coleta de amostras em todas as etapas do processo de beneficiamento;
- ✓ Trabalho de laboratório envolvendo análise física das amostras;
- ✓ Trabalho de escritório voltado para interpretação das informações obtidas no campo, unidade de beneficiamento e laboratório.

A lavra é realizada a céu aberto, em flanco ou encosta (figura 1). O corpo mineralizado é lavrado em cinco bancadas com alturas variando entre 6 e 8m em média. Apresenta um dique de pegmatito intrudido e tem como característica estrutural as fraturas tectônicas e variação de tonalidades. A área mais externa do corpo sofreu alteração intempérica, apresentando coloração

amarelada, enquanto que a parte interna é de coloração cinza-azulado e apresenta cristais de quartzo bem desenvolvidos. De acordo com o avanço realizado na lavra, a jazida tende a ficar homogênea, ou seja, um padrão de coloração cinza.



Fig. 1. Lavra de sienito a céu aberto, realizada em encosta.

A perfuração é realizada por meio de perfuratriz pneumática **Rock** com rotação e percussão sobre as hastes, modelo pw 5000 (figura 2), obedecendo uma malha pré-estabelecida pelo plano de fogo. A coluna de perfuração é composta pelo conjunto de hastes e bit de tungstênio, martelo e punho. A carreta perfuratriz é movida a ar comprimido gerado por um compressor estacionário GA 160 Atlas Copco elétrico, permitindo uma produção diária entre 12 e 15 minas com diâmetro de 2,5" e alturas variadas entre 6 e 8m. Esta etapa tem como finalidade auxiliar o desmonte da rocha.



Fig. 2. Perfuratriz pneumática modelo W 5000

O desmonte da rocha é feito com o uso de explosivo *anfo encartuchado* (figuras 3 e 4), através do seguinte plano de fogo: malha utilizada conhecida como “*Pé de Galinha*”, teoricamente classificada como uma malha estagiada, que devido à geometria dos furos dificulta a perfuração, pois requer um maior tempo de locomoção furo a furo, com a vantagem de oferecer uma melhor distribuição do explosivo no maciço rochoso. Com afastamento (A) de 1,5m e espaçamento (E) de 2,0 m, o desmonte é realizado periodicamente dentro de todos os parâmetros legais exigidos pelos órgãos competentes e com o acompanhamento técnico do blaster, engenheiro de Minas e Geólogo.



Fig. 3. Explosivo anfo-encartuchado.



Fig. 4. Retardo utilizado no desmonte

A unidade de beneficiamento (usina de moagem de sienito) possui capacidade instalada para produzir 100 toneladas/hora de sienito moído na malha 12# e de 15 tonelada por hora sienito desferrizado na malha 20#, o que resulta numa produção mensal de 10.000 toneladas de sienito moído na malha 12# e 2.000 toneladas/mês na malha 20#, trabalhando-se um turno normal de 8 horas diárias. O processo de cominuição tem início com a recepção do sienito bruto no britador de mandíbulas primário (figura 5), reduzindo o mesmo para tamanhos de no máximo 7 polegadas, seguindo em esteiras até o britador cônico (figura 6), onde é realizada uma britagem secundária, o qual será reduzido ao tamanho de 2,5 polegadas. Após a segunda etapa de britagem, o sienito é transportado para uma “peneira de dois deques” com aberturas de 50,8mm e 16,0 mm, com o objetivo de separar todo o resíduo fino gerado na lavra e no processo de britagem.



Fig. 5. Britador de mandíbulas



Fig. 6. Britador cônico

O material retido na peneira mais grossa de 50,8mm e na peneira com abertura mediana de 16,0mm retorna para o britador cônico para que ocorra uma rébritagem e seja transportada para o *“pulmão de brita”*, o que caracteriza um circuito fechado de cominuição. O material passante nas duas peneiras cai sobre uma correia transportadora e é transportado até uma segunda peneira com abertura de 4,8mm que separa a brita do material de granulometria fina. O produto desta etapa irá alimentar uma bateria de quatro moinhos de martelos (figura 7), com uma potência de 125 cv cada, com grelhas com abertura de 2,5 e 4,0mm, permitindo assim uma melhor redução do tamanho de granulometria $< 3,0\text{mm}$, o que garante a granulometria desejada

e chegam a produzir de 23 a 27 toneladas por hora em média cada moinho. Após a moagem o sienito segue para uma etapa de secagem em um secador rotativo (figura 8) que funciona com um fluxo de ar quente em temperatura média de 120°C na entrada e 80°C na saída.



Fig. 7. Bateria de quatro moinhos de martelo



Fig. 8. Secador rotativo

Posteriormente a secagem o sienito segue para o setor de separação magnética (figura 9), que envolve inicialmente o peneiramento na malha 20# em peneiras rotativas tipo Tromel, passando por ímãs de terras raras operando com campo magnético que varia de 3.500 a 9.500 GAUSS, obtendo o produto final.



Fig. 9. Separador magnético.

Toda a rcha moída destina-se às unidades do Grupo Elizabeth, situadas nos município de João Pessoa e Conde, onde será utilizado na fabricação da cerâmica ou grés porcelanato, onde o sienito entra com aproximadamente 30% da composição da massa. O rejeito vai para o pátio de estocagem onde fica armazenado à espera do destino final.

As amostras de rochas e minerais foram coletadas em todas as etapas do processo produtivo, embaladas em sacos plásticos transparentes de volume igual a 2 litros. Foram etiquetadas, identificadas e enviadas para o laboratório de análises. Os ensaios laboratoriais são necessários para qualificação do produto em função de suas propriedades tecnológicas, as quais irão influenciar diretamente no produto final. A análise granulométrica foi feita com a finalidade de avaliar o padrão granulométrico do produto final (sienito), após beneficiado e se o mesmo corresponde as exigências e padrão do setor responsável pela produção das massas e esmalte cerâmicos. Os ensaios de secagem a 120°C e fusibilidade a 1230°C das amostras são feitos a uma em estufa de marca SERVITECH e posteriormente moidas no moinho de bolas “periquito” da marca SERVITECH 500, na malha 100 mesh. Após o quartejamento, os cones ou barretes foram moldados e prensados em uma Prensa da marca MARCON e queimados a uma temperatura de 1.230 ° C, com um ciclo de queima de 45 minutos, em forno tipo mufla da marca JUNG. Após a queima foram observados a coloração, brilho e a fusibilidade, características importantes na comprovação da qualidade do corpo sienítico.

3. CONCLUSÕES

Os trabalhos de lavra, beneficiamento e de laboratório do sienito na mina Craibeira é complexo, exigindo dinâmica e criatividade, proporcionando uma visão global de todo processo inerente à transformação da matéria rochosa bruta no produto final, que será posteriormente transformado em revestimento cerâmico e grés porcelanato pelo Grupo Elizabeth, nas unidades fabris de João Pessoa e Conde. A empresa está sempre investindo nos processos e lavra e beneficiamento das suas rochas e minerais, inovando no uso da separação magnética, transmitindo o compromisso de que uma empresa tem que buscar novas fontes de alternativas com relação a matéria prima e ter sua própria frota, para com isso, garantir o escoamento do material beneficiado e sua produção industrial.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F.M. de; HASSUI, Y.; BRITO NEVES, B.B, de; FUCK, R.A. Províncias Estruturais Brasileiras. VIII Simpóio Brasileiro de Geologia do Nordeste, Campina Grande-PB **Atas**, p 363-391 (1977).

JARDIM de SÁ, E.F. .A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia Brasiliana/Pan-Africana. - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília **Tese Doutorado**, 804p (1994).

SOUZA, F.A.; BARROS, P.S.S.; LIMA SOBRINHO, A.P.C. Mining and mineral processing on pegmatites: example of serido microrregion, Paraíba state, Brazil. Sustainable Industrial Processing Summit / Shechtman International symposium, vl. 2, mineral processing. Edited by Floriam Congoli, Flogen, p 287-296 (2014).

SOUZA, F.A.; BARROS, P.S.S.; LIMA SOBRINHO, A.P.C. Open pit and underground mining: a mixed method for small mineral exploration on pegmatite boddies of central Borborema Province, in Paraíba, Brazil. Sustainable Industrial Processing Summit / Shechtman International symposium, vl. 1, mineral processing. Edited by Floriam Congoli, Flogen, p 395-401 (2014).

SOUZA, F.A.; LIMA SOBRINHO, A.P.C. Os desafios para o desenvolvimento sustentável da pequena mineração na Paraíba. XXV encontro nacional de tratamento de minérios e metalurgia extrativa e VIII meeting of the southern hemisfere n mineral technology, Goiânia-GO, Brasil, p 10-18, 2013.

OBTENÇÃO DE PÓ DE QUARTZO DE ELEVADA PUREZA POR LIXIVIAÇÃO ÁCIDA PARA PRODUÇÃO DE SÍLICA VÍTREA

Felipe Lindolfo da Silva¹, Ana Elizabeth Rodrigues de Freitas², Vivian Stumpf Madeira³, Belarmino Barbosa Lira⁴.

¹aluno de graduação do curso de Engenharia Química; ²aluna de graduação do curso de Engenharia Química; ³docente do curso de Engenharia Química; ⁴docente do curso de Engenharia Civil. Laboratório de Cromatografia e Quimiometria Aplicada – LACQUA / Departamento de Engenharia Química.

Universidade Federal da Paraíba – UFPB

eqfelipel@gmail.com

RESUMO

O pó de quartzo de elevada pureza é usado em larga escala na produção de vidros especiais, como a sílica vítrea, onde o grau de pureza mínimo exigido é de 99,9% de SiO₂. Este trabalho teve como objetivo a obtenção de pó de quartzo de pureza elevada para produção de sílica vítrea utilizando a técnica de lixiviação ácida. Foram realizados ensaios de lixiviação usando HCl e HNO₃, 37% e 65% respectivamente, com variação de temperatura e tempo de reação (2, 4, 6 e 8h), com tamanho médio de partícula de 17 µm e agitação constante, numa porcentagem de sólido de 10% (m/v). Após cada ensaio o sólido final foi seco, lavado com água destilada e analisado por FRX. Um estudo baseado no tratamento térmico da amostra foi iniciado, com a finalidade de buscar melhores teores de SiO₂. Foi evidenciada a remoção de impurezas no pó de quartzo para os ensaios com HCl e HNO₃ com 8h e 75°C, na qual a porcentagem de SiO₂ passou de 99,30% para 99,50% usando HNO₃, e de 99,30% para 99,40% usando HCl. Porém, o ensaio realizado com HCl obteve uma taxa de remoção de 60% Fe, ao passo que com o HNO₃ essa taxa foi de 13%. Assim a mistura dos ácidos na proporção de 1:1, foi proposta com intuito de aumentar o desempenho da lixiviação. Para estes ensaios, foi observado que a porcentagem de SiO₂ atingiu 99,59%, com o tempo de 2h, na temperatura de 110°C, obtendo uma remoção de 58% Ca, 52% Fe, 28% Al, 9% K e 3% Na. Utilizando-se somente HNO₃ por 2h a 110°C, obteve-se 99,62% de SiO₂ correspondendo a uma eficiência de 31% no processo de lixiviação, com remoção de 100% Ca e K, 26% Fe, 8% Na, porém, com baixa taxa de remoção de Al.

PALAVRAS-CHAVE: Quartzo, Lixiviação ácida, Beneficiamento mineral.

ABSTRACT

The high purity quartz powder is used extensively in the production of special glasses such as silica glass, where the minimum required degree of purity is 99.9% SiO₂. This study aimed to obtain quartz powder of high purity for the production of silica glass using acid leaching technique. Leaching tests were conducted using HCl and HNO₃, 37% and 65% respectively, with variation of temperature and reaction time (2, 4, 6 and 8 hours) with average particle size of 17 μm and constant stirring, a solid percentage of 10% (m / v). After each test the final solid was dried, washed with distilled water and analyzed by XRF. A study based on the heat treatment of the sample was initiated, in order to seek better levels of SiO₂. Removal of impurities was observed in the quartz powder for assays with HCl and HNO₃ at 8h and 75 ° C, in which the percentage of SiO₂ spent 99.30% to 99.50% using HNO₃ and 99.30% to 99.40% using HCl. However, the assay performed with HCl obtained a removal rate of 60% Fe, whereas with HNO₃ this rate was 13%. Thus the mixture of acids in the ratio 1: 1 has been proposed in order to increase the performance of leaching. For these assays, it was found that the SiO₂ percentage reached 99.59%, after 2 hours at 110 ° C, obtaining a removal of 58% Ca, 52% Fe, 28% Al, 9% and K 3% Na. Using only HNO₃ for 2h at 110 ° C it was obtained 99.62% of SiO₂ corresponding to a efficiency of 31% in the leaching process, with removal of 100% for Ca and K, 26% for Fe and 8% for Na, however, with low removal rate for Al.

KEYWORDS: Quartz, acid leaching, mineral beneficiation.

1. INTRODUÇÃO

Em temperatura ambiente o quartzo é um composto mineral, conhecido como a fase estável da sílica ou óxido de silício (SiO₂). A composição química é de 46,7 %Si e 53,3 %O. O quartzo é utilizado como matéria-prima para fabricação de microchips, produção de vidros especiais, confecção de controladores de frequência, osciladores, bem como na fabricação de fibras ópticas e células solares. No geral, a diferença entre as aplicações ocorre em função do grau de pureza e imperfeições da matéria-prima, sendo os materiais de alta qualidade utilizados em tecnologias avançadas.

Defeitos comuns no quartzo estão relacionados ao surgimento de íons que comprometem a

pureza da matéria-prima. A incorporação de íons externos na rede ou em posições intersticiais é chamada de defeitos extrínsecos. A presença de impurezas como Na^{+1} e K^{+1} , fazem parte destes defeitos, além disso, podem estar presentes nas inclusões fluidas do mineral. Outro defeito pontual está associado aos espaços que não são preenchidos pelos átomos de silício e oxigênio. Estes defeitos são considerados como defeitos intrínsecos e são causados, por exemplo, pela substituição do Si^{4+} pelo Al^{3+} . Além desta substituição podem ser encontrados defeitos substitucionais para os elementos Ferro, Titânio e Germânio. A remoção destes elementos que estão nas posições intersticiais ou de forma substitucional é fundamental, pois a presença destes não só diminui o valor agregado do quartzo, mas também influenciam nas propriedades estruturais, ópticas e elétricas do mesmo.

A lixiviação ácida é uma extração do tipo sólido-líquido onde há dissolução preferencial de um ou mais constituintes presentes no sólido por contato com um solvente líquido. Em escala de laboratório, é o método mais utilizado na purificação do quartzo, no entanto, conta com uma ampla variedade de parâmetros, como temperatura, tempo de reação, tamanho de partícula, tipo e concentração do ácido (HUANG *et al.*, 2013). Estes parâmetros influenciam na velocidade e eficiência da extração das impurezas, pois: (a) a solubilidade da impureza, na maioria dos casos, aumenta com a temperatura; (b) nas condições do ensaio, o tempo tem que ser suficiente para que aconteça a máxima remoção de impurezas; (c) um tamanho de partículas pequeno proporciona uma maior área interfacial entre o sólido e o líquido, com uma maior taxa de extração; (d) o tipo de ácido deve ser seletivo e sua concentração tem que ser suficientemente forte para remover as impurezas, de modo que a sílica não seja afetada (AGUIAR, 1989).

O presente trabalho teve como objetivo aplicar a técnica de lixiviação ácida para a obtenção de pó de quartzo com 99,90% de SiO_2 . Foram avaliados os parâmetros: tipo de ácido utilizado; tempo de reação e a temperatura.

2. METODOLOGIA

Os ensaios de lixiviação ácida foram realizados em experimento em batelada, em sistema fechado, com refluxo dos vapores ácidos condensados, controle de temperatura e agitação constante. Os ácidos clorídrico (HCl) e nítrico (HNO_3) de concentração 37% e 65%, respectivamente, foram utilizados para os ensaios de lixiviação. Os ensaios foram realizados em um balão de fundo redondo de duas bocas, onde cada ensaio continha 10 gramas do pó de quartzo em contato com 100 mililitros do ácido selecionado. Duas amostras de pó de quartzo, fornecidas por uma empresa de mineração da Paraíba, foram utilizadas.

A suspensão de quartzo em ácido, foi submetida à agitação constante de 600 rpm, por 2, 4, 6 e 8 horas e temperatura da reação de 75 e 110°C. No final de cada ensaio o sistema foi desligado e a suspensão foi retirada do sistema e resfriada rapidamente. Em seguida, a separação das fases líquida e sólida foi realizada por centrifugação em tubo Falcon em 3200 rpm por 20 minutos. O procedimento de lavagem com água foi utilizado com o intuito de retirar possíveis impurezas que estivessem retidas na superfície do quartzo após a lixiviação ácida. A lavagem consistiu na agitação constante de uma mistura de água destilada e o pó de quartzo com duração de 10 minutos em um béquer à temperatura ambiente, e posterior filtração a vácuo. Este procedimento foi realizado três vezes e logo em seguida o pó de quartzo foi submetido ao processo de secagem em um forno à 110°C. O pó de quartzo obtido, antes e após o processo de lixiviação ácida, foi caracterizado por espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX). A Figura 1 mostra o esquema experimental utilizado para os ensaios de lixiviação.

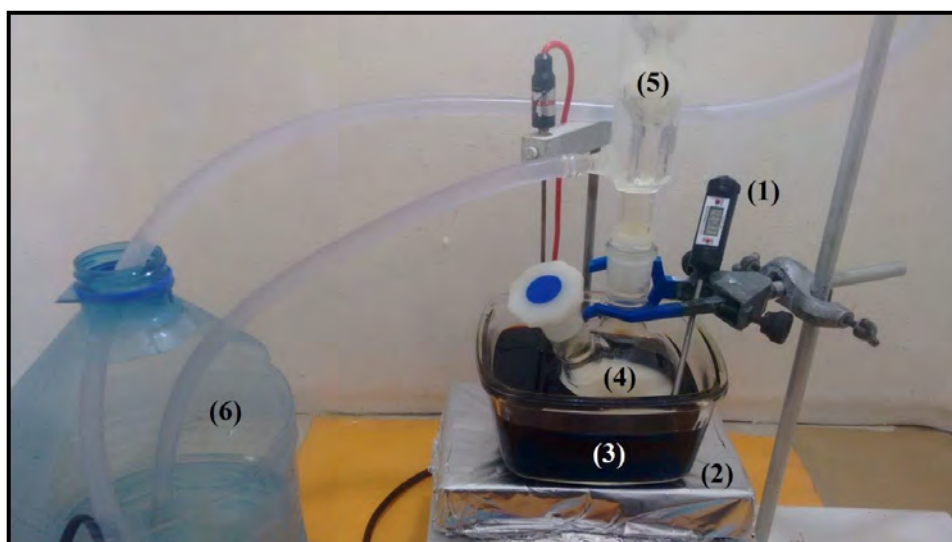


Figura 1 – Sistema de refluxo empregado para os ensaios de lixiviação ácida. O sistema é composto pelos seguintes itens: (1) termômetro digital do tipo espeto; (2) chapa de aquecimento com agitador magnético; (3) banho de glicerina; (4) balão de fundo redondo de duas bocas; (5) condensador de bolas (6) banho com água de resfriamento.

Além disto, foi realizado um tratamento térmico da amostra que consistiu no aquecimento em forno (mufla), a uma temperatura de 450°C, em diferentes tempos (30, 60 e 90min). Ao atingir a temperatura e o tempo determinados o sólido foi rapidamente vertido em água destilada, proporcionando um choque térmico no material com o intuito de remover impurezas intersticiais e inclusões fluidas. Técnicas semelhantes são empregadas para rejeitos de lascas de quartzo.

A eficiência do processo de lixiviação foi calculada em função da quantidade total de impureza presente na amostra que deve ser removida para a obtenção do pó de quartzo com 99,90% de SiO₂, através da Equação 1.

$$Eficiência\ processo\ \% = \frac{M_{removida}}{M_{ideal}} * 100 \quad (1)$$

Onde $M_{removida}$ é a quantidade total de impureza removida em cada ensaio, e M_{ideal} é a quantidade de impureza que deveria ser removida, a partir da massa inicial, para que seja obtido 99,90% de SiO_2 na amostra.

3. RESULTADOS

3.1. Caracterizações das Amostras

As amostras de pó de quartzo utilizadas nos ensaios de lixiviação ácida (duas amostras no total) são oriundas do Seridó Paraibano, na chamada Província Pegmatítica da Borborema. As mesmas foram fornecidas por uma empresa de mineração do estado da Paraíba e já se encontravam moídas e peneiradas. A distribuição granulométrica das amostras, realizada pelo método de difração a laser, detectou partículas com diâmetros compreendidos entre 1 e 100 μm , com diâmetro médio de 17 μm calculado em volume (obteve-se a mesma distribuição granulométrica para as duas amostras fornecidas). A caracterização química das amostras foi realizada por espectrometria de fluorescência de raios-X. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos. É possível observar que o teor de SiO_2 presente nas amostras é de 99,30% para a Amostra 1 e 99,50% para a Amostra 2. Dentre as principais impurezas presentes no quartzo, podemos destacar o Alumínio, o Sódio, Ferro, Cálcio e Potássio.

Tabela 1 – Caracterização química do pó de quartzo utilizado nos ensaios de lixiviação.

Composição	Amostra 1	Amostra 2
% SiO_2	99,30	99,50
% Al_2O_3	0,31	0,18
% Na_2O	0,16	0,14
% K_2O	0,14	0,10
% Fe_2O_3	0,05	0,04
% CaO	0,04	0,04

3.2. Lixiviação com HNO₃ 65% e HCl 37%

Os primeiros ensaios de lixiviação foram realizados com a Amostra 1 com HNO₃ 65% (ensaio A1) e HCl 37% (ensaio B1). Os ensaios foram realizados com uma temperatura fixa de 75°C e mantendo-se a reação por 8 horas. O Gráfico 1 evidencia que a partir do ensaio de lixiviação A1 foi possível obter um pó de quartzo mais puro, com 99,495% de SiO₂, obtendo-se uma eficiência no processo de lixiviação de 33%. Já no ensaio realizado com HCl 37%, obteve-se 99,38% de SiO₂ na amostra final, com uma eficiência no processo de 13%. Com relação às impurezas removidas em cada ensaio, o Gráfico 2 mostra que para os dois ácidos se obteve 100% de remoção do cálcio, no entanto, as demais impurezas apresentam seletividades diferentes para cada ácido utilizado. Vale destacar a remoção de 60% do ferro na lixiviação com ácido clorídrico e 100% do sódio com ácido nítrico. Com relação ao alumínio presente no quartzo (0,31% Al₂O₃ na Amostra 1), praticamente nenhuma remoção foi alcançada nos dois ensaios de lixiviação.

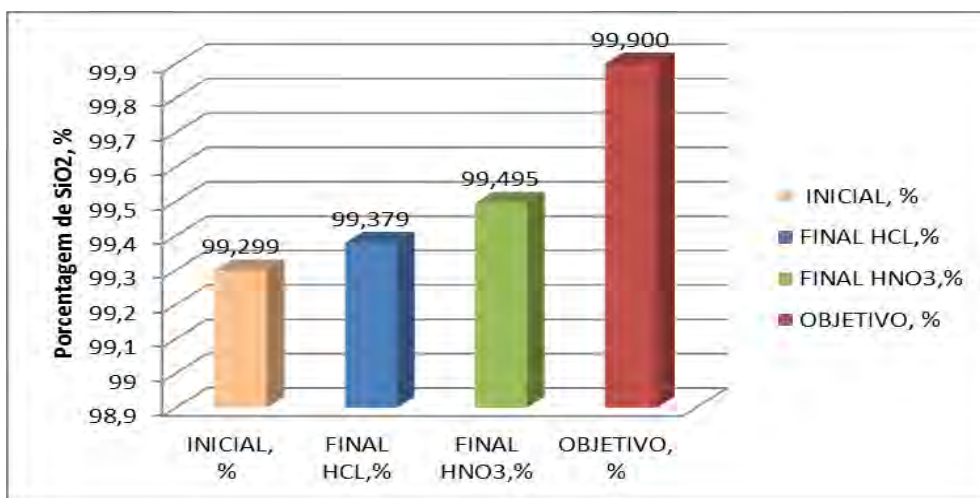


Gráfico 1 – Teor de SiO₂ para o ensaio A1 (HNO₃ 65%) e B1 (HCl 37%), por 8 horas à 75°C.

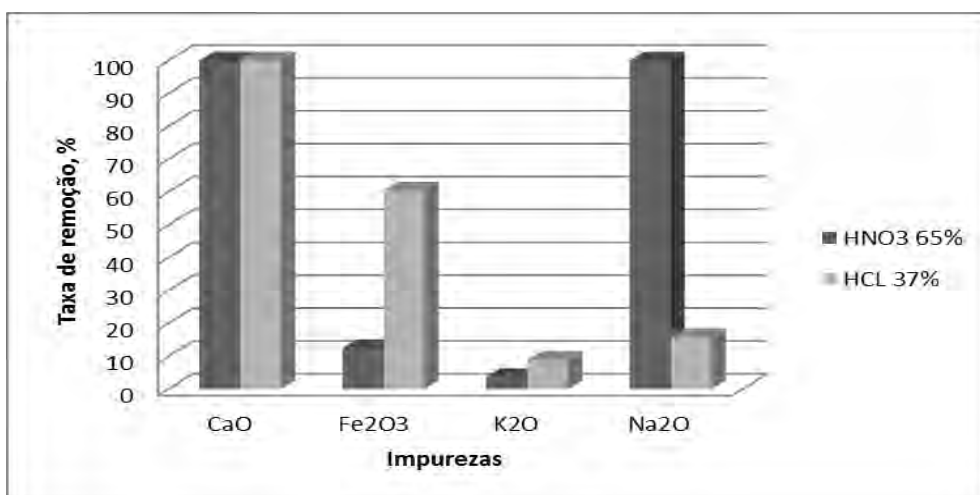


Gráfico 2 – Porcentagem de impureza removida nos ensaios A1 (HNO₃ 65%) e B1 (HCl 37%).

Em função da diferença de seletividade encontrada para os ácidos nítrico e clorídrico, foi proposto a lixiviação ácida com a mistura de HCl 37% e HNO₃ 65%, na proporção de 1:1 (volume/volume).

3.3. Lixiviação com a Mistura dos Ácidos - HNO₃ 65% e HCl 37%

A lixiviação ácida realizada com a mistura HNO₃ 65% e HCl 37% (na razão de 1:1 v/v), foi feita com a Amostra 2, a uma temperatura fixa de 110⁰C e mantendo-se a reação por 2 horas. O Gráfico 3 mostra o resultado obtido. A amostra de quartzo produzida neste ensaio obteve 99,60% de SiO₂, com uma eficiência no processo de 24%.

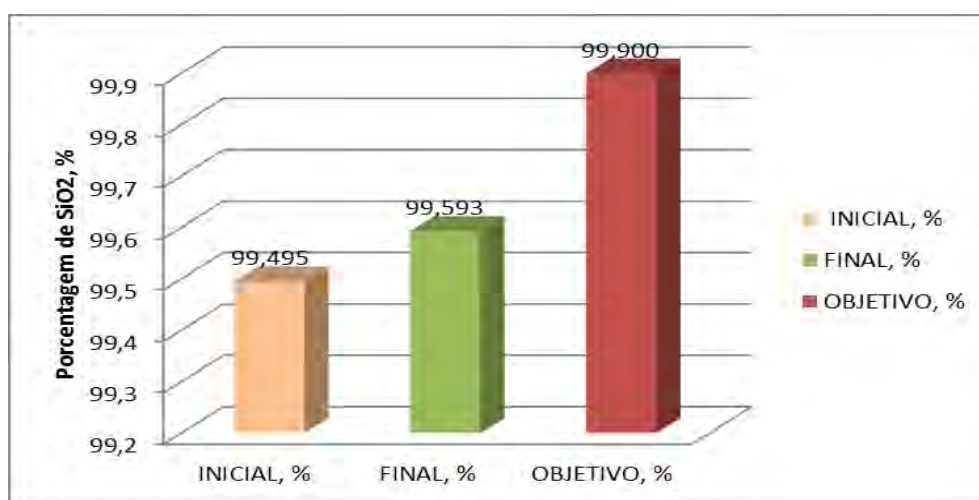


Gráfico 3 – Teor de SiO₂ para o ensaio D1 com a mistura HCl : HNO₃ (1/1, v/v), por 2 horas à 110°C.

Para o ensaio com HCl:HNO₃ observou-se a importância do efeito da lavagem com água destilada, uma vez que o pó de quartzo lavado apresentou maior teor de SiO₂ (99,60%) em relação ao não lavado (99,51%), sendo este padrão utilizado para os demais ensaios

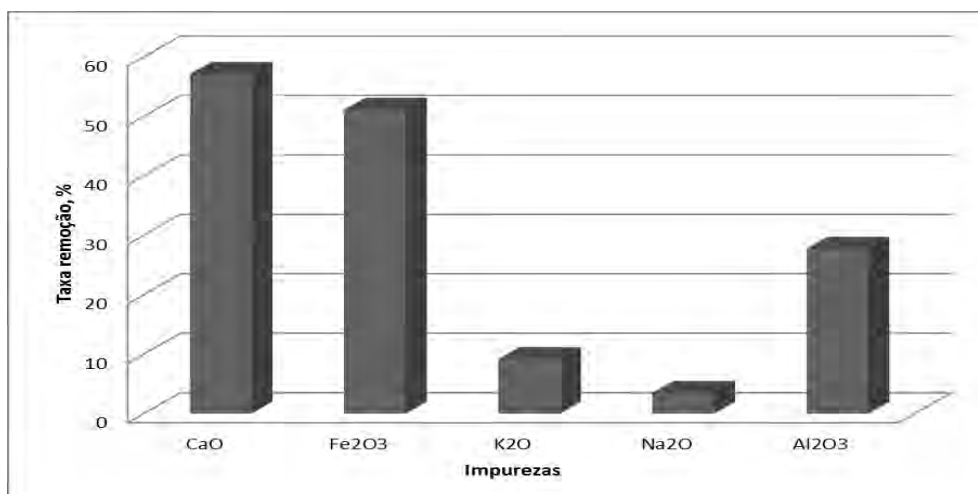


Gráfico 4 – Porcentagem de impureza removida no ensaio D1.

Além de obter o maior teor de SiO_2 em relação aos ensaios preliminares, obteve-se taxas de remoção de impurezas relevantes como 28% Al, 52% Fe e 58% Ca. A junção dos ácidos e/ou a maior temperatura de reação proporcionaram melhores resultados quando comparados com a utilização dos ácidos individuais, principalmente com relação à remoção do alumínio. O tempo de reação também foi avaliado neste ensaio, realizando-se a lixiviação por 2, 4 e 6h. As porcentagens finais de SiO_2 nas amostras lixiviadas foram de 99,60; 99,55 e 99,58 de teor de SiO_2 , respectivamente. Concluiu-se daí, que a lixiviação ácida atinge o equilíbrio com 2h, não sendo necessário prolongar a reação por mais tempo.

3.4. Efeito da temperatura na lixiviação com HNO_3 65%

Para se avaliar o efeito da temperatura na eficiência da lixiviação, foi realizada a lixiviação ácida com HNO_3 65% a 110°C . O Gráfico 5 mostra o resultado obtido; neste caso, obteve-se quartzo com um grau de pureza de 99,62% de SiO_2 com uma eficiência no processo de lixiviação de 31%. As taxas de remoção de cada impureza neste ensaio foram similares àquelas obtidas para o ensaio A1 (HNO_3 65% à 75°C), com exceção a remoção do Ferro e Sódio que foram maiores (Gráfico 6).

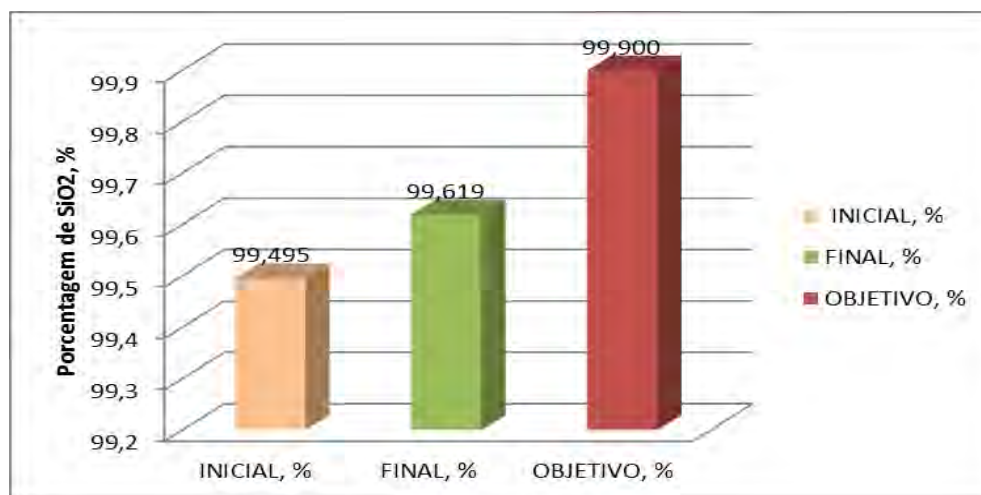


Gráfico 5 – Teor de SiO_2 para o ensaio F1 com HNO_3 à 110°C por 2 horas.

Este fenômeno pode ter ocorrido devido ao aumento da temperatura, que proporcionou uma maior solubilidade das impurezas, porém, não afetando o Alumínio, uma vez que não houve remoção neste ensaio.

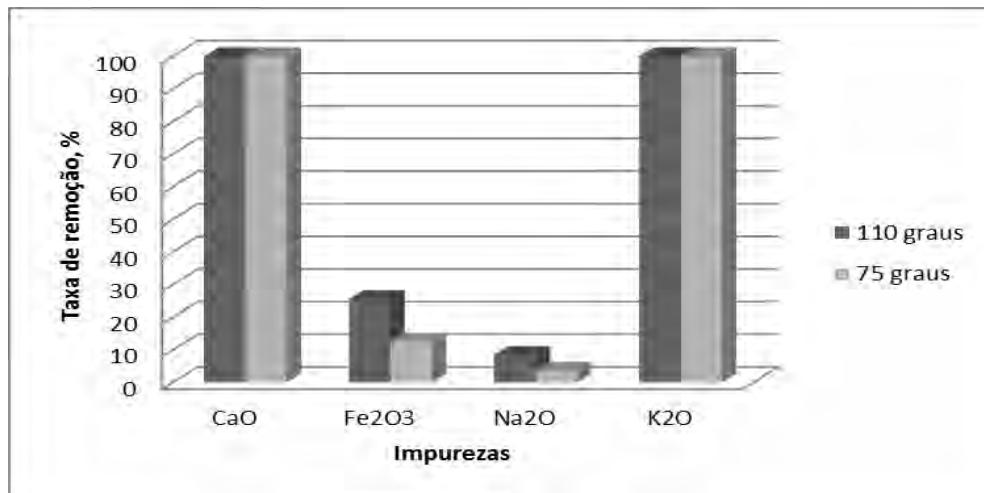


Gráfico 6 – Impurezas removidas no ensaio F1 (HNO₃ à 110°C) e A1 (HNO₃ à 75°C).

3.5. Tratamento térmico

O aquecimento seguido de resfriamento brusco em água destilada na Amostra 2 foi efetuado com a finalidade de aumentar o teor de SiO₂ pela remoção de impurezas. O Gráfico 7 mostra o teor de SiO₂ para os diferentes tempos de aquecimento e para a amostra inicial. Os resultados evidenciam a perda de sílica durante o tratamento, com uma redução de 99,50 para 99,36% SiO₂, em média, nas amostras calcinadas. O tratamento térmico exaustivo, devido à sequência de choques térmicos, possivelmente, afetou a estrutura da rede cristalina do quartzo, ocorrendo uma diminuição no teor de SiO₂. Este resultado está em desacordo com o obtido por Soares, *et. al*, (2012) onde amostras de quartzo passaram de 97,50% de SiO₂ para 99,50% apenas com o tratamento térmico.

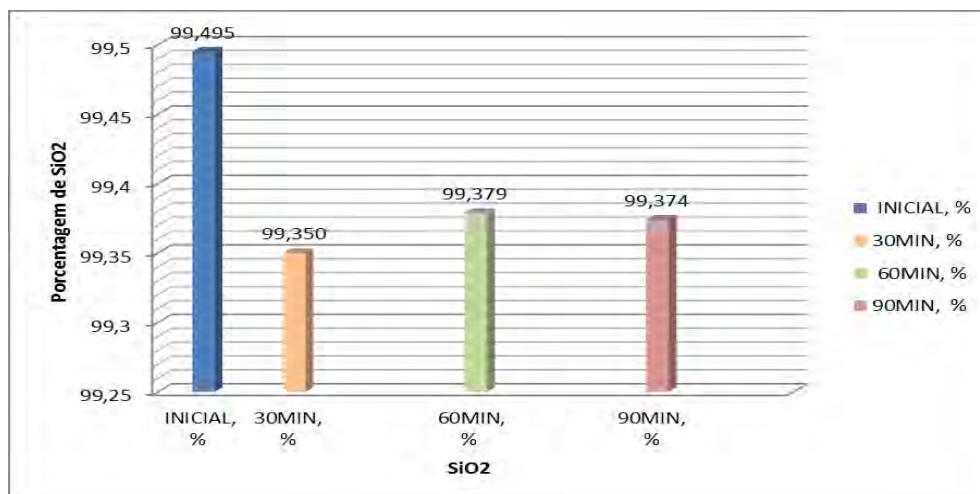


Gráfico 7 – Tratamento térmico da Amostra 2 à 450°C.

4. CONCLUSÃO

A lixiviação ácida se mostrou uma técnica eficiente para a purificação do pó de quartzo. O melhor resultado foi obtido com a mistura de HNO_3 e HCl , temperatura de 110°C e 2 horas de reação, estando em função da remoção de Alumínio que é o principal contaminante presente na amostra. Neste caso foi alcançado um teor de SiO_2 de 99,60% e uma taxa de 28% de remoção do Alumínio. As dificuldades encontradas na remoção de impurezas, como Alumínio e Potássio, devem estar relacionadas com os defeitos pontuais do quartzo, tal fato implicou na difícil obtenção de teores maiores de SiO_2 . O efeito do tratamento térmico através dos choques térmicos não foi satisfatório a princípio, contudo há maiores investigações em andamento a cerca da técnica. Estudos adicionais estão sendo realizados a fim de superar esta dificuldade.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, M. R. **Purificação de silício metalúrgico por lixiviação ácida**. Tese – Faculdade de Engenharia de Campinas, Campinas, 1989.

HUANG , H., LI, J. , LI, X., ZHANG, Z. **Iron removal from extremely fine quartz and its kinetics**. School of Chemistry and Chemical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, 2013.

SOARES et al. **Beneficiamento e caracterização de quartzo para obtenção de silício grau metalúrgico**. Universidade Federal do Rio de Janeiro / Instituto de Química – UFRJ – 2012.

TRATAMENTO DE CAULINITA PARA INTERCALAÇÃO COM POLÍMEROS: PRODUÇÃO DE NANOCOMPÓSITO

Luana Dutra¹, Ana Lúcia Nazareth da Silva², Christine Rabello Nascimento³, Luiz Carlos Bertolino⁴

¹ Aluna de graduação em Química Industrial, CETEM e UFRJ

² Engenheira química, D. Sc., Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano

³ Engenheira Química, D.Sc., Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UFRJ

⁴Geólogo, D.Sc., CETEM e UERJ

lcbertolino@cetem.gov.br

RESUMO

A mistura de nanocargas minerais com polímeros é conhecida como nanocompósito polimérico. Estes nanocompósitos têm sido pesquisados por apresentarem grande potencialidade nas propriedades químicas e físicas se comparadas aos polímeros puros ou aos compósitos tradicionais. Neste estudo, o caulim utilizado foi fornecido pela mineradora Monte Pascoal (MP), da Região de Prado, de qualidade extrafina e oriundo dos tipos de depósito secundário, com a função de atuar como nanocarga, sendo este beneficiado e tratado com um agente de intercalação, produzindo um intermediário que será usado na obtenção da nanocarga. Através desse caulim beneficiado, busca-se desenvolver novas tecnologias para a valorização do caulim que contenha possível ferro estrutural, e melhorar o desempenho de resinas termoplásticas commodities ou elastômeros através da incorporação desse mineral tratado com o polímero, dando enfoque no aumento da resistência mecânica, química, térmica e propriedades de barreira. Como resultado principal desse estudo, foi obtido uma taxa de intercalação de 42% durante um tratamento de 3 dias, entre caulim e solução de acetato de potássio (usado para expandir os planos basais da caulinita), sendo esse tratamento considerado satisfatório em relação aos outros tratamentos, os quais serão apresentados ao longo do texto. Esta amostra seguirá para a intercalação com um sal de amônio, o qual facilitará a interação com o polímero apropriado.

PALAVRAS-CHAVE: nanocompósito, caulinita, intercalação.

ABSTRACT

The mixture of mineral nanofillers with polymers is known as a polymeric nanocomposite. These nanocomposites have been researched for presenting great potential in chemical and physical properties compared to the pure polymer or traditional composites. In this study, Kaolin was supplied by the Monte Pascoal Mining, Prado region, extra-fine quality and coming from the types of secondary storage, for the purpose of acting as the intercalation nanoclay with the polymer, being received and treated with an intercalating agent producing an intermediate to be used in obtaining the nanoclay. Through this processed kaolin, seeks to develop new technologies for the enhancement of kaolin containing possible structural iron, and improve the performance of thermoplastic commodities or elastomer resins by incorporating this treaty mineral with the polymer, by focusing on increasing the mechanical strength, chemical, thermal and barrier properties. The main result of this study , was 42% intercalation rate obtained for a treatment of 3 days at kaolin and potassium acetate solution (used to expand the basal planes of kaolinite), and this result was considered efficient compared to other treatments, which will be presented throughout the text . This sample followed to mixture with an ammonium salt, which will facilitate interaction with the appropriate polymer.

KEYWORDS: nanocomposite, kaolinite, intercalation.

1. INTRODUÇÃO

Devido as suas funções física e química, as argilas são consideradas materiais com grande capacidade de modificação superficial, o que possibilita a formação de uma gama de produtos, e por isso, os argilominerais vêm ganhando cada vez mais atenção dos pesquisadores (Paiva *et al.*, 2008).

O caulim pode ser empregado em diversas finalidades industriais e uma delas é como nanocarga em misturas poliméricas. O nanocompósito pode ser obtido mediante a esfoliação do argilomineral durante o processamento do polímero. Esta esfoliação consiste na delaminação completa do argilomineral, o que é possível pela atuação de reagentes específicos, capazes de interagir com as lamelas e expandir o espaçamento basal.

O caulim possui em maior quantidade o mineral caulinita - $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$, a qual é comumente observada como partículas aglomeradas, formando um empilhamento hexagonal, conhecido como booklets, na proporção 1:1 (Cunha, 2004).

Diferente das argilas do grupo das esmectitas, a caulinita não é considerada uma argila com plano basal expansível. Contudo, é possível introduzir e intercalar moléculas orgânicas entre as camadas 1:1 da caulinita (Coelho *et al.*, 2007). A intercalação entre nanocarga e polímero só é possível na caulinita quando as ligações de hidrogênio são quebradas, as lamelas da argila são expandidas e a afinidade do caulim por polímeros é modificada pelos agentes de intercalação, os quais devem ter forte polaridade e serem capazes de se ligar aos grupos funcionais da caulinita (Zhang *et al.*, 2009).

2. Objetivo

Busca-se desenvolver um método eficiente para obtenção de um intermediário a ser aplicado na produção de nanocompósitos poliméricos, através de agentes de intercalação e modificações químicas. Posteriormente, serão produzidos nanocompósitos que devem ter suas propriedades melhoradas em comparação ao polímero puro. Se propriedades como resistência à tração, resistência química a ataque de ácidos e bases, resistência à fratura, resistência à permeação de gases e aumento de resistência a chamas forem melhoradas, o caulim secundário possivelmente contaminado com ferro será valorizado e poderá ser aplicado na produção de novos materiais tecnológicos.

3. Metodologia

Para a expansão das lamelas da caulinita, usou-se o acetato de potássio (Kac.) como agente de intercalação (solução de acetato de potássio 5M), o qual tem forte polaridade, tamanho apropriado e pode se ligar aos grupos funcionais presentes na caulinita.

A eficiência do processo de intercalação entre o caulim e a solução de acetato de potássio foi determinada através da intensidade dos picos nos difratogramas de raios X (DRX), usando a equação que determina o percentual de caulinita intercalada (Li *et al.*, 2009). Além desta técnica, outras foram utilizadas como complemento ao estudo: espectroscopia por infravermelho segundo transformada de Fourier (FT-IR), determinação da capacidade de troca catiônica (CTC),

microscopia eletrônica de varredura (MEV), análise termogravimétrica (TGA) e análise térmica diferencial (DTA).

Foram utilizados 5 kg de caulim da empresa Monte Pascoal (MP). Inicialmente, o caulim foi submetido à classificação granulométrica à úmido em peneira vibratória, sendo a fração abaixo de 44 μm submetida à separação magnética no equipamento Boxmag-Rapid (14.000 Gauss) e secagem na estufa a 50°C.

Para modificar o espaçamento basal do caulim, foram pesados 30 g da fração não magnética para homogeneização com solução de acetato de potássio 5M, 500 ml. As misturas foram submetidas à agitação no agitador magnético (modelo RW 20ZM.n IKALabortechnik) durante 3, 6, 14 e 21 dias a 450 rpm.

Após os períodos de tratamento, os procedimentos seguintes foram determinação do pH de cada mistura, filtração das amostras (lavadas com no máximo 100 ml de água deionizada), secagem em estufa a 50°C e análises em difratômetro de raios X (DRX) com tubo de cobalto ($\lambda=1,79\text{\AA}$), análise espectroscópica por infravermelho (FT-IR), análises termodiferencial (DTA) e termogravimétrica (TGA).

A taxa de intercalação da caulinita em solução de acetato de potássio foi determinada por meio da equação da taxa de intercalação da caulinita em solução de acetato de potássio, proposta por Li *et al.* (2009).

$$\text{Taxa de intercalação} = [I_{(001) \text{ ag. interc.}} / (I_{(001) \text{ ag. interc.}} + I_{(001) \text{ caulinita}})] * 100\%.$$

Onde “I(001) ag. Interc.” e “I(001) caulinita” são as intensidades das reflexões dos planos basais (001) da caulinita intercalada e não intercalada, respectivamente.

Os picos encontrados nas análises por DRX são utilizados para elaboração do gráfico no software Origin 8.0, o qual determina as áreas dos picos que são utilizadas nos cálculos da taxa de intercalação. Os resultados estão apresentados na tabela 1, a seguir:

Tabela 1. Eficiência da intercalação da caulinita em solução Kac.

Dias de tratamento do Caulim MP	I(001) ag. Interc.	I(001) caulinita	Razão de intercalação (%)
3 dias	111,21	2018,61	5,22
3 dias a 40°C	1560,16	2134,11	42,23
6 dias	1338,42	819,45	62,02
14 dias	3922,08	1607,59	70,92
21 dias (duplicata)	3129,76	888,85	77,88
21 dias (original)	1901,06	730,29	72,24

Como continuidade deste trabalho, será feita a intercalação com sal de amônio, que substituirá o agente intercalante anterior, ou seja, haverá uma substituição do acetato de potássio por um sal de amônio de cadeia longa.

4. Resultados e discussões

Os difratogramas de raios X das amostras tratadas por 3, 6, 14 e 21 dias são os apresentados na figura 1:

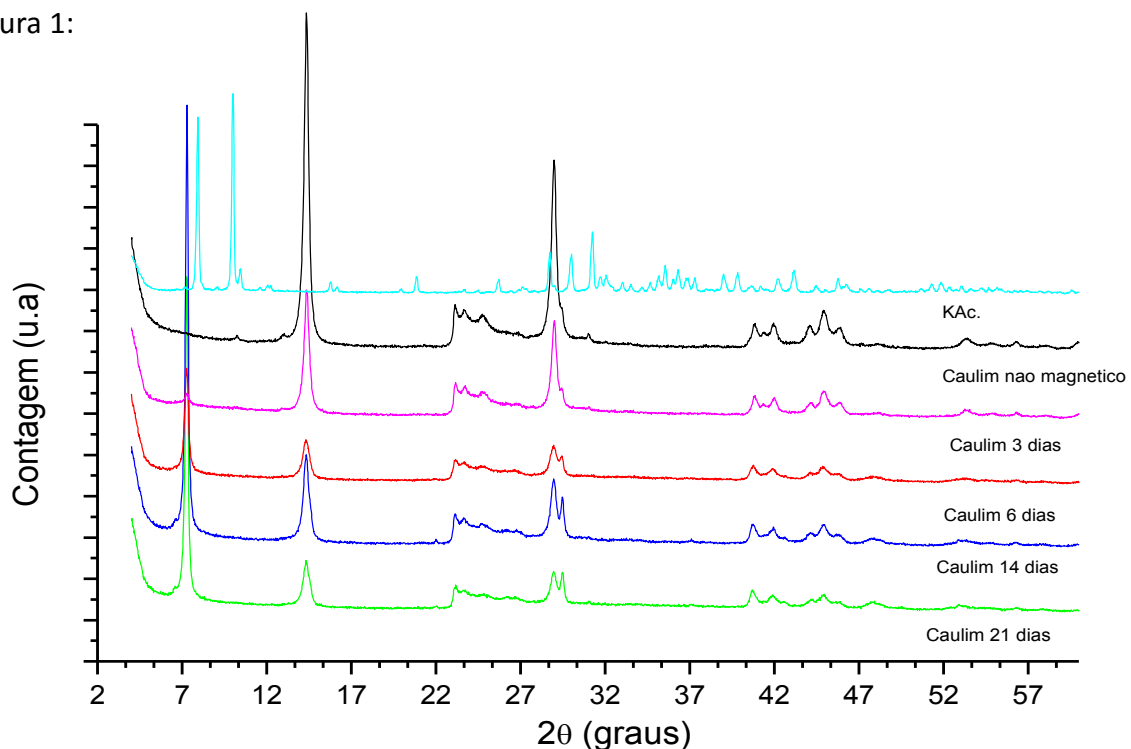


Figura 1 - Difratogramas de raios X das amostras, antes e após o tratamento com Kac.

Houve aumento da distância interplanar referente ao plano basal da caulinita, indicando que a intercalação com acetato de potássio foi bem sucedida. Observa-se na figura 1 o surgimento de um pico intenso em aproximadamente 7° e a diminuição do pico referente ao plano 001 original da caulinita, o que significa que o reagente intercalante aumentou a distância interplanar. A possibilidade de cristalização do acetato sobre as partículas de caulim, que poderia ocorrer se a remoção na lavagem tivesse sido insuficiente, está descartada, visto que não foram observados picos do acetato nas amostras intercaladas (Fig.1). O tratamento por 21 dias foi o que apresentou melhor taxa de intercalação (78%). Entretanto, como industrialmente, 21 dias seguidos de

tratamento seria inviável energeticamente e financeiramente. Portanto, é fixado um tratamento por 3 dias mas buscando uma maior eficiência. A mistura solução de acetato de potássio mais caulim foi refeita, agora por 3 dias a 40°C, em banho-maria, em uma lavadora ultrassônica Unique, modelo USC-2850A, a 650 rpm. O aumento da eficiência foi considerável (de 5% para 42%) e este tratamento foi escolhido como melhor tratamento de expansão e para a posterior intercalação com o sal de amônio. A seguir, é apresentado o difratograma referente ao tratamento mais eficiente (figura 2):

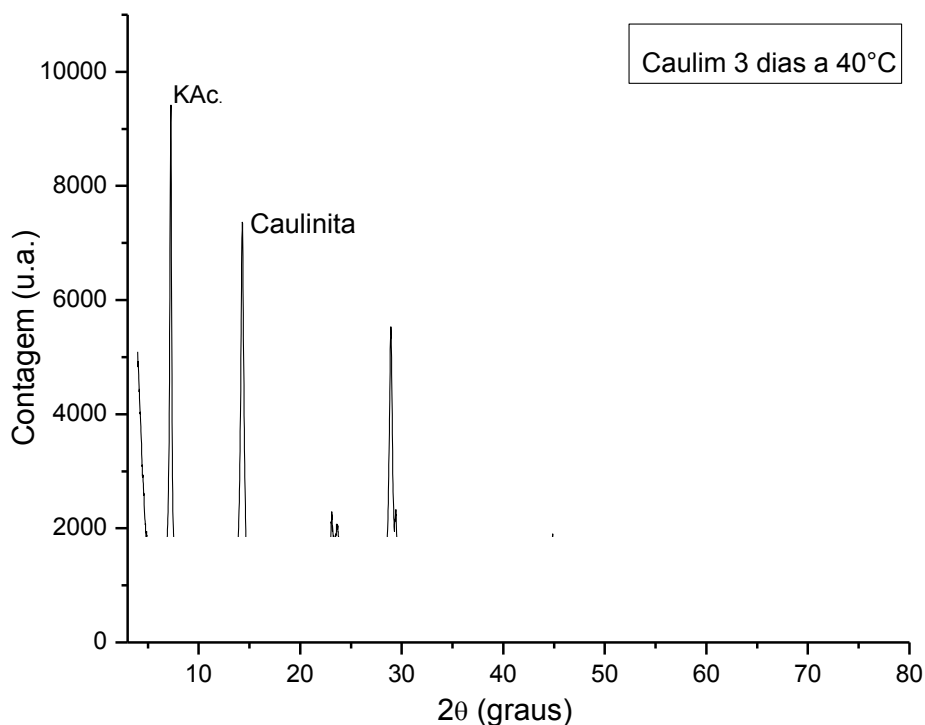


Figura 2 – Difratograma de raios X da amostra tratada com solução Kac. por 3 dias a 40°C.

As análises do espectro no infravermelho das amostras de caulinita indicaram frequências de vibração características de estiramento de hidroxila: 3692, 3668, 3651 e 3620 cm^{-1} (Li *et al.*, 2009). Além disso, a intercalação com o acetato de potássio gerou mais duas bandas em 1418,80 e 1616,80 cm^{-1} , as quais são próximas aos picos de vibração dos movimentos simétricos e antissimétricos do íon acetato, 1408,4 e 1604 cm^{-1} (Cheng *et al.*, 2010). Na figura 3 está o espectro em infravermelho da amostra tratada por 6 dias com a solução de Kac.

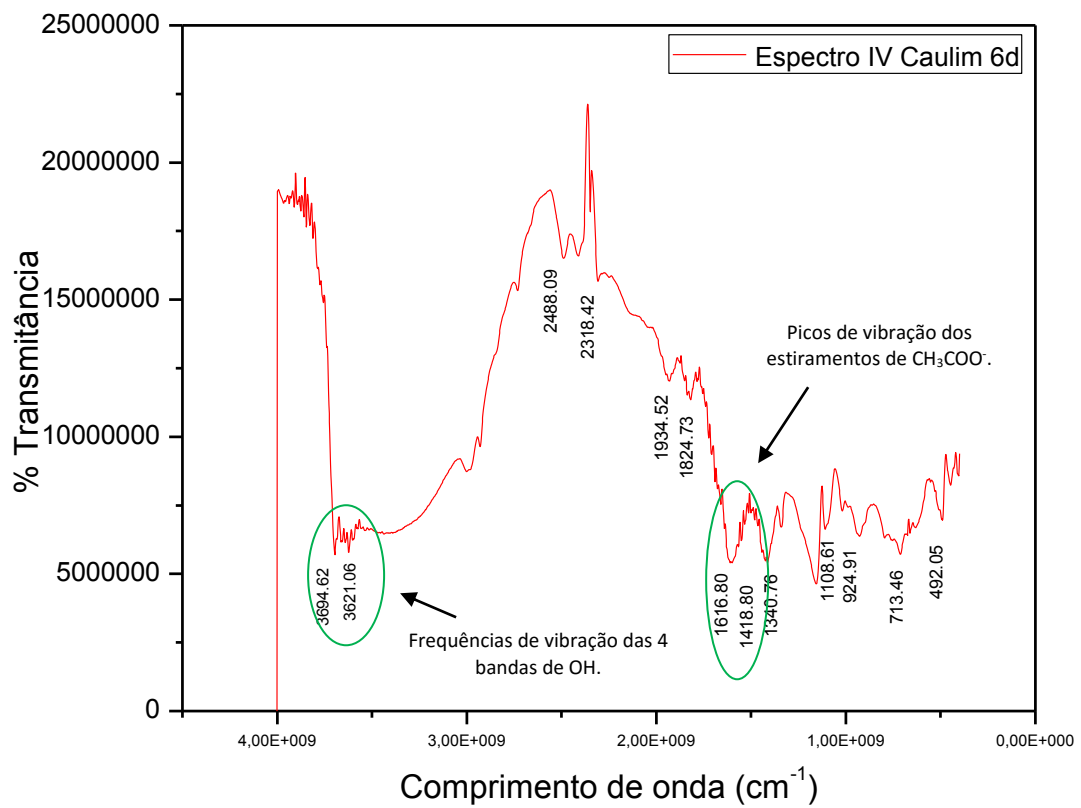


Figura 3 – Espectro no infravermelho da amostra tratada por 6 dias com a solução de Kac.

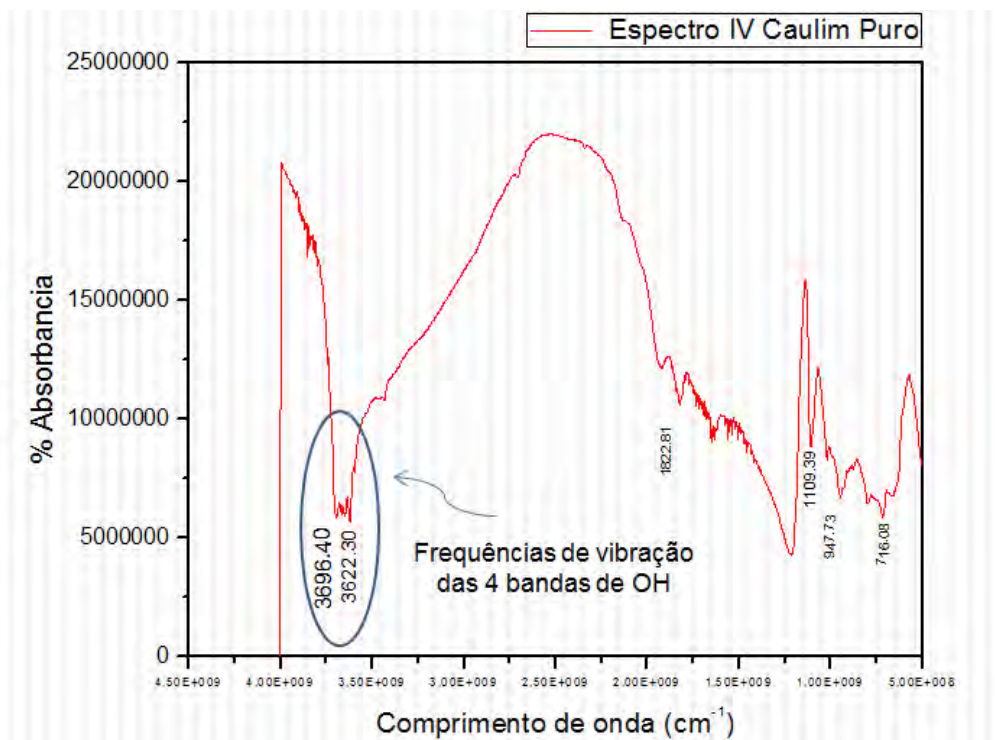


Figura 4 – Espectro no infravermelho da amostra de caulinita pura para efeito de comparação.

A determinação da CTC através do método com azul de metileno indicou que as amostras tratadas com solução acetato de potássio e solução de sal de amônio apresentaram uma baixa CTC, cerca de 5,12 meq/100g.

Outras análises complementares são as observações das imagens obtidas no microscópio eletrônico de varredura, as quais mostraram uma delaminação em alguns pontos das amostras tratadas com a solução de acetato de potássio, assim como deslocamentos e expansão do plano basal da caulinita. Portanto, mais uma comprovação de que o tratamento foi efetivo.

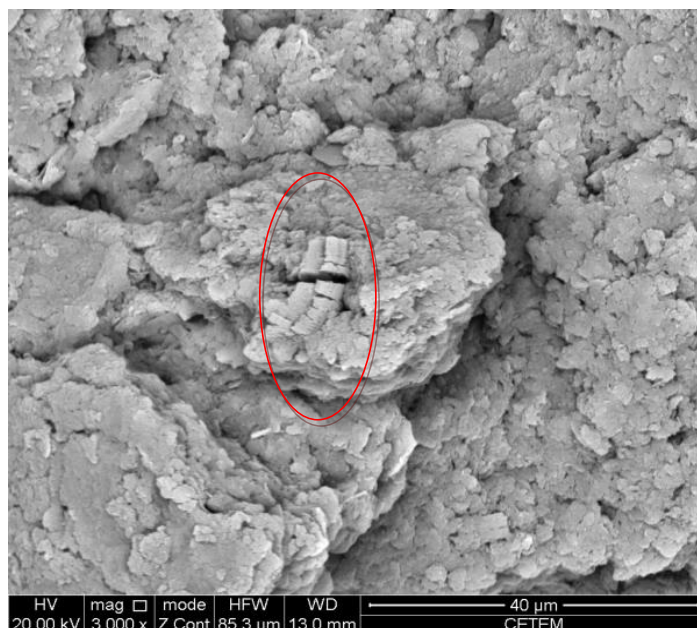


Figura 5 – Imagem obtida por microscopia eletrônica de varredura, modalidade retro espelho, detector DSE, modo Z, da amostra tratada por 14 dias em solução de acetato de potássio.

Além disso, a amostra de caulim MP não magnético (original e sem tratamento) e a amostra de caulim MP tratado com solução de acetato de potássio a 40°C, foram caracterizadas também segundo TGA e DTA. A perda da água estrutural nas análises ficou entre 490°C e 510°C, enquanto que as perdas de água superficial e dos reagentes ocorreram em diferentes temperaturas, segundo o tipo de tratamento. Para o caulim MP tratado com solução de acetato de potássio a 40°C, a perda da água superficial e reagente ocorreu em dois pontos: em 70°C e a 350°C. Por conseguinte, é observado que existe certa estabilidade na perda da água estrutural em torno de 500°C. Faz-se necessário então um estudo de qual tratamento será o mais estável para a intercalação com o polímero adequado, assim como se necessita continuar as análises em relação à intercalação com a solução do sal de amônio.

5. Conclusões

Com base nos resultados obtidos através do difratômetro de raios-X e do espectrômetro por infravermelho, verificamos a eficiência da técnica. Os difratogramas de raios X mostraram que o tratamento com solução de acetato de potássio desloca o pico da caulinita, e com isso verifica-se que o espaçamento entre os planos basais do mineral foi aumentado. As amostras de caulim tratadas com a mesma solução de acetato de potássio em diferentes períodos de agitação apresentaram diferentes razões de intercalação, sendo o tratamento mais eficiente o referente à amostra tratada por 3 dias a 40°C, com 42% de razão de intercalação, a qual será destinada ao tratamento com solução de brometo de cetiltrimetil amônio (sal de amônio).

O sal de amônio permite uma maior interação entre a caulinita e as macromoléculas, como os polímeros, que antes não era possível devido à falta de afinidade influenciada pelo acetato de potássio. A eficiência da intercalação com o sal de amônio ainda está sendo analisada.

A partir dos espectros no infravermelho, observa-se que houve a intercalação com a solução de acetato de potássio, pois a frequência de vibração do íon acetato foi identificada.

Já os resultados apresentados na análise termogravimétrica (TGA) e na análise térmica diferencial (DTA) são importantes para a escolha do polímero a ser intercalado, pois a carga deve ter estabilidade térmica para ser aquecida na temperatura de fusão do polímero, e com isso temos uma faixa de limitação para a escolha da macromolécula.

As próximas etapas serão investigar a eficiência da intercalação com o sal de amônio e intercalar com um polímero específico, escolhido com base nos resultados das análises termodiferencial e termogravimétrica, e aumentar as proporções de todos os reagentes envolvidos para testes fora da bancada de laboratório.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHENG, H., LIU, Q., YANG, J., ZHANG, Q., FROST, R.L. Thermal behavior and decomposition of kaolinite – potassium acetate intercalation composite. **ThermochimicaActa**, Vol. 503-504 (2010) p.16–20.

COELHO, A.; SANTOS, P. e SANTOS, H. Argilas Especiais: Argilas Quimicamente Modificadas – Uma Revisão. **Química Nova**, Vol. 30 (2007) p. 1282-1294.

CUNHA, F.O. Estudo da Reologia de Polpas de Caulim para a Indústria de Papel com Base no Caulim da Região do Prado. **Tese de Doutorado, Departamento de Ciências dos Materiais e Metalurgia**, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (2004) p. 130.

LI, Y., SUN, D., PAN, X. e ZHANG, B. Kaolinite Intercalation Precursors - **Clays and Clay Minerals**, Vol. 57 (2009) p. 779–786.

PAIVA, L.B., MORALES, A.R., DÍAZ, F.R.V. Argilas organofílicas: características, metodologias de preparação, compostos de intercalação e técnicas de caracterização. **Cerâmica**, Vol. 54(2008) p. 213-226.

FLOTAÇÃO EM COLUNA APLICADO À CONCENTRAÇÃO DE SCHEELITA A PARTIR DE REJEITO

Hudson J. B. Couto^{1,2}, Vitor O. Andrade³, Odon O. Souza⁴, Túlio C. S. S. André⁵

¹Tecnologista Pleno, Coordenação de Processos Mineraiis - COPM/CETEM/MCTI

²Instituto Federal do Rio de Janeiro - IFRJ; hudson.couto@ifrj.edu.br

³Aluno de graduação, Engenharia de Materiais - Escola Politécnica da UFRJ

⁴Geólogo, Mineração Tomaz Salustino - MTS; odongeomat53@yahoo.com

⁵Professor, Instituto Federal da Paraíba - IFPB/Campus Campina Grande - PB

hcouto@cetem.gov.br

RESUMO

A Scheelita, por ser densa, é beneficiada através de concentração gravítica, principalmente jigagem e mesas vibratórias. Este trabalho visa recuperar a Scheelita oriunda da bacia de rejeito fino da Mina Brejuí, localizada em Currais Novos/PB, utilizando o processo de flotação como método de concentração mineral. Embora o rejeito de Scheelita desta mina já tenha sido objeto de estudos de flotação no final da década de setenta, pouco se sabe sobre estudos de flotação, posterior a esta época. A partir da análise química da amostra, foi obtido um teor de 0,16% de WO_3 , mostrando a possibilidade de concentrar Scheelita por flotação à teores que podem ser utilizados em processo de lixiviação (5 a 20%) para concentração final. Os resultados de flotação mecânica em bancada possibilitou a obtenção de teores de WO_3 no concentrado de 3,2%, porém com recuperação metalúrgica em torno de 60%, utilizando uma etapa de flotação *rougher*. Ensaios de flotação em coluna permitiram aumentar a recuperação metalúrgica final da flotação para 65% com aumento do teor de WO_3 para 4,3%, chegando a uma razão de enriquecimento de 27 vezes em relação à alimentação ROM do processo. Este resultado pode ser considerado muito promissor em se tratando de um material proveniente de um rejeito.

PALAVRAS-CHAVE: Scheelita, flotação em coluna, rejeito

ABSTRACT

The Scheelite is a mineral normally beneficiated by gravity concentration (jigging and shacker tables). The goal of this work is recover Sheelite from the fine tailings of the Brejuí Mine, Currais

Novos/ PB, using flotation process. These tailings has already been studied using the flotation method to recover the Scheelite in the seventies years, but little is known about flotation studies, after this time. Additionally, additional waste has been dumped from that time until now on the dam, and a new characterization was carried out to support the flotation studies. A sieve analysis of the current waste revealed a coarser material than expected ($P_{80} = 0.300$ mm and 15% passes in 0.074 mm). These values are very different from those found in past studies, probably because of years of weathering expose promoted a natural leaching and the fine at the dam was carried on. A 0.16% WO_3 was obtained from the chemical analysis of the tailing sample, showing the possibility to concentrated of Scheelite flotation to levels that can be used in the another concentration method like leaching process (5 to 20%) to obtain a final concentration . The initial results of flotation obtained WO_3 content between 3.2%, with metallurgical recovery of around 60%, which can be considered promising in the case of these tailings. Column flotation tests have increased the final metallurgical recovery of flotation to 65% with increasing WO_3 content to 4.3%, enabling to achieve a enrichment ratio of 27 times relative to feed. This result can be considered very promising considering that the study material was from a tailings dam.

KEYWORDS: Scheelite, flotation column, tailing

1. INTRODUÇÃO

O beneficiamento da Scheelita, empregado na Mina Brejuí em Currais Novos, região no Brasil de maior concentração deste mineral, consiste em etapas de cominuição (britagem primária, secundária e moagem a martelo) e concentração gravimétrica (jigues e mesas vibratórias). O rejeito final oriundo das mesas vibratórias, contendo considerável quantidade de WO_3 devido à baixa eficiência do processo nas frações finas, é classificado em um classificador espiral de 20 polegadas onde o underflow, rejeito grosso é levado a um silo e posteriormente encaminhado por caminhões a uma pilha própria, e o overflow é levado por gravidade até um espessador de 10 m de diâmetro para recuperação da água. O *underflow* deste é bombeado até a bacia de decantação formando o depósito de rejeito fino.

O objetivo do estudo é aumentar a recuperação de Scheelita da usina de concentração da Mina Brejuí, a partir da concentração por flotação, dando sequencia ao trabalho apresentado anteriormente de caracterização e ensaios de flotação em bancada no ENTMME de 2015 (Couto *et al.*, 2015). Neste trabalho serão apresentados os resultados de flotação em coluna em escala

contínua, assim como alguns resultados relativos a etapa de preparação do material para alimentação dos testes de flotação em coluna envolvendo moagem e deslamagem.

2. METODOLOGIA

2.1 Preparação da amostra

A amostra de rejeito de Scheelita recebida no CETEM foi homogeneizada em pilha cônica, seguida de pilha prismática, e quarteada em alíquotas de cerca de 30 kg de material, utilizadas nos ensaios de flotação em coluna, conforme procedimento apresentado em Couto *et al.* (2015).

2.2 Análise granulométrica

A análise de distribuição granulométrica da amostra de estudo foi realizada através do procedimento clássico de peneiramento a úmido utilizando uma série de peneiras *Tyler*, com aberturas variando de 37 a 600 μm .

2.3 Moagem

Para os ensaios de flotação em coluna, de maior carga de alimentação, a moagem foi realizada em um moinho de 12" x 18" (diâmetro x comprimento) fabricado pela antiga *Canadian Process Technology* - CPT® (atual Eriez), equipado com controle de rotação e sistema eletromecânico para carga e descarga (Figura 1). Foi utilizando barras como corpo moedor, visando a menor produção de finos e, conseqüentemente, melhor eficiência do processo de flotação. As condições operacionais utilizadas nesta etapa foram: Polpa com 60% de sólidos; rotação de 60 rpm e tempo de moagem de 12 - 20 min.

2.4 Deslamagem

Após a etapa de moagem, o material foi submetido a uma deslamagem para remoção das partículas muito finas que prejudicam a etapa posterior de flotação. Todas as deslamagem dos ensaios contínuos de flotação em coluna foram realizadas com um hidrociclone da AKW de 40 mm de diâmetro da parte cilíndrica, 7 mm de *apex* e 12 mm do *vortex finder*. A Figura 2a ilustra o aparato de deslamagem utilizado, com o tanque de preparo da polpa e o tanque de remoção do *underflow* (deslamado), e a Figura 2b ilustra o hidrociclone com detalhes.

2.5 Sistema de reagentes selecionados

Coletor: AERO 726 e 845 (Cytec)

Depressor: Na_2SiO_3 (Sigma-Aldrich), quebracho (Unitan Saica), hidrosol ($\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ou FeCl_3) (Sigma-Aldrich)

Espumante: Metil Isobutil Carbinol - MIBC

Regulador: Carbonato de sódio (Na_2CO_3) - Sigma-Aldrich

Dispersante: Silicato de sódio (Na_2SiO_3) - Sigma-Aldrich

Condições/observações adicionais:

- No condicionamento foi utilizado primeiramente o carbonato de sódio antes do sistema depressor/dispersante para correção do pH;
- Os coletores AERO 726 e 845 foram saponificados, utilizando-se soda caustica.
- Após cada ensaio, os produtos gerados (concentrado e rejeito), foram filtrados e levados à secagem, para posterior registro da massa de cada produto e preparo das alíquotas para análise química.



Figura 1 – Unidade de moagem CPT (Usina Piloto do CETEM)

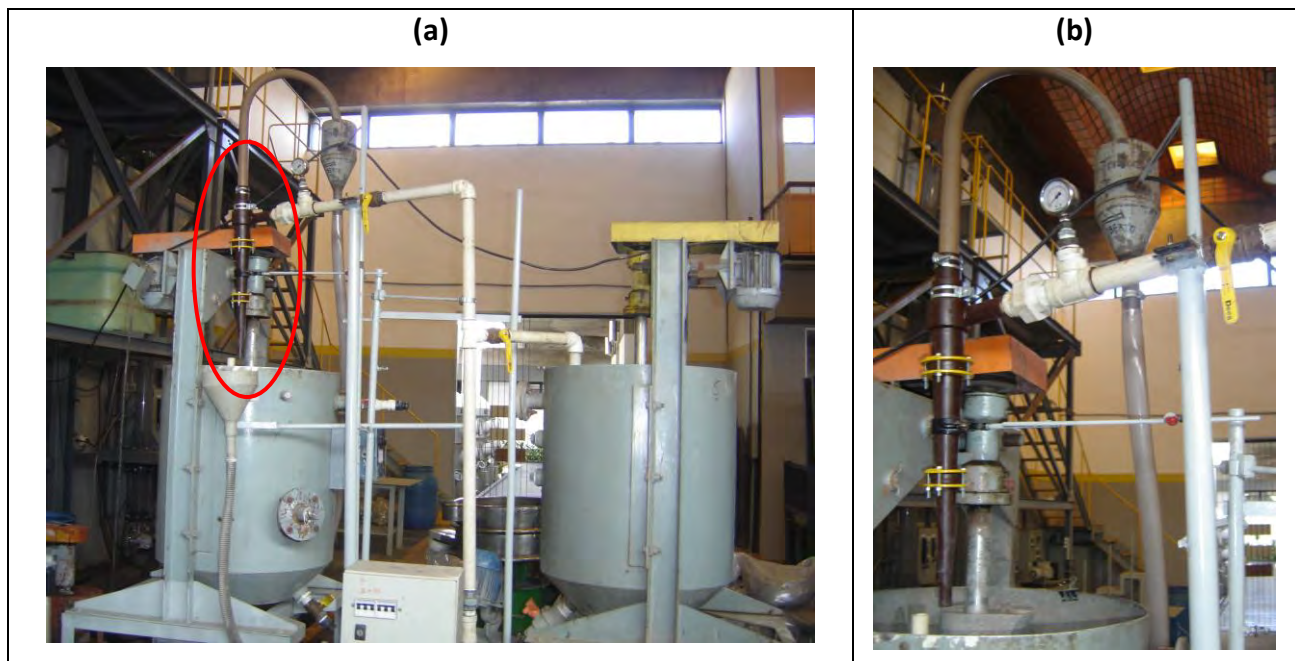


Figura 2 – Aparato utilizado na deslamagem: (a) vista geral com tanques de preparo de polpa e de armazenamento do deslamado e (b) detalhe do hidrociclone AKW utilizado

2.6 Análise química

As análises químicas da amostra estudada e dos produtos gerados dos processos de concentração foram realizadas no setor de análises químicas do CETEM, sendo determinados, por

fluorescência de raios-X (FRX), os seguintes elementos: WO_3 , CaO, P_2O_5 , SiO_2 , F, além da perda por calcinação (PPC).

2.7 Ensaios contínuos de flotação em coluna

Os ensaios contínuos de flotação em coluna foram realizados na coluna piloto do CETEM de 2" de diâmetro interno com 6 m de altura e volume de aproximados de 13 L (Figura 3a). Outros equipamentos que compõe a unidades são: painéis de controle de vazão de água de lavagem e de ar, rotâmetros (Cole-Parmer®), regulador de pressão do ar, bombas peristálticas para alimentação (Cole-Parmer® - Masterflex) e retirada de produtos (Cole-Parmer®), painel de controle elétrico de velocidade de bombas, sistema de controle automático de nível, sistema de dispersão do ar (dispersor poroso), tanque de condicionamento da polpa de alimentação, bombas de diafragma para dosagem de reagentes. Os testes de flotação em colunas foram realizados com condições operacionais recomendadas na literatura especializada no tema (Aquino *et al.*, 2004; Finch e Dobby, 1990) e pelo fabricante das colunas (antiga CPT - *Canadian Process Technologies Inc.*, 2007), de acordo com as condições operacionais apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Condições operacionais dos testes de flotação em colunas

Variáveis operacionais	
Tempo de residência médio	15 min
Vazão de alimentação	0,76 L/min
Vazão da água de lavagem	0,25 a 0,38 L/min
Vazão de rejeito	ajustada pelo controlador PID de nível, conforme valor de <i>bias</i>
<i>Bias</i>	0,10 A 0,2 cm/s
Vazão de ar	0,6; 1,2 e 1,8 L/min
Velocidade superficial do ar (J_g)	0,5; 1,0 e 1,5 cm/s
Altura da camada de espuma	30 cm

No processo de flotação em coluna é comum utilizar um parâmetro operacional conhecido por *bias* para descrever a fração residual de água de lavagem que desce na camada de espuma (seção de limpeza). O *bias* é quantificado pela diferença entre a vazão de rejeito e vazão da polpa de alimentação, expressa em termos de velocidade superficial (Finch e Dobby, 1990). A velocidade superficial de uma corrente é definida pela razão entre a vazão volumétrica e a área da seção transversal de escoamento (coluna). Geralmente para um aumento do teor de minério no concentrado emprega-se uma vazão de rejeito maior que a vazão de alimentação, ou seja, um *bias* positivo, com valores recomendados entre 0,05 e 0,15.

O condicionamento dos reagentes nos ensaios contínuos de flotação em coluna foi realizado em tanques agitados mecanicamente e dispostos em geometria cascata, conforme

Figura 3 (b), de forma que a transferência de polpa de um tanque para outro seja realizada por gravidade (transbordo).

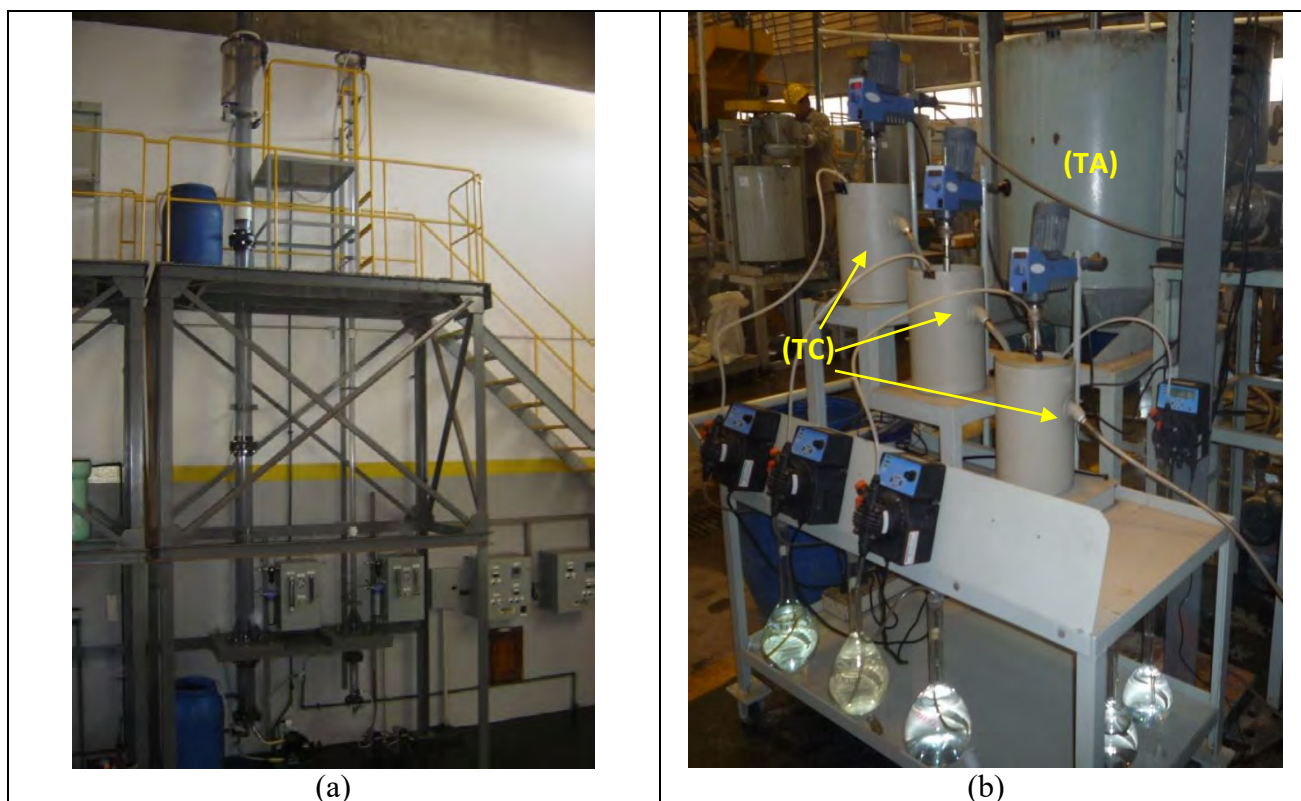


Figura 3 - (a) Unidade piloto de flotação em coluna do CETEM e (b) Tanques de condicionamento de reagentes em configuração cascata (TC) e tanque de preparo e alimentação de polpa (TA)

O pH da polpa de alimentação da coluna foi ajustado automaticamente por uma bomba dosadora de controle de pH, de acordo com o valor inserido no *set point*. O carbonato de sódio foi dosado diretamente no tanque de armazenamento da polpa de alimentação sob agitação mecânica, de acordo com a dosagem estabelecida para cada ensaio.

2.7.1 – Procedimento experimental: Flotação em coluna

- i) após etapa de deslamagem no circuito de hidrociclonagem, prepara-se um determinado volume de polpa mineral (entre 15 - 25% de sólidos), que deve ser mantida em tanque agitado e provido de sistema de recirculação da polpa para melhor homogeneização;
- ii) o ar é alimentado na base da coluna ajustando-se a vazão desejada através de um rotâmetro no painel de controle de vazões de ar e água de lavagem. A pressão na linha de alimentação de ar deve se mantida em torno de 200 kPa (2 bar) e, na sequência, a coluna é alimentada com água até a metade da sua altura total;
- iii) os reagentes químicos são então adicionados, primeiramente adiciona-se o depressor no tanque de condicionamento da polpa. Posteriormente, são dosados os demais reagentes nos

tanques condicionadores dispostos em cascata projetado para trabalhar com um tempo de residência médio de condicionamento de três vezes o valor empregado nos ensaios de bancada. O pH da polpa foi controlado no último tanque e mantido na faixa de 10,0 a 10,5;

iv) na sequência a polpa é alimentada na coluna, na vazão pré-estabelecida, mantendo-se o seletor do painel de controle de nível no modo manual até que a altura do transdutor de pressão da coluna seja alcançada pela polpa, quando o seletor é então ajustado para automático.

v) a seguir, a água de lavagem é alimentada no topo da coluna, ajustando-se a vazão de trabalho no rotâmetro de água do painel.

vi) após cerca de 1 hora de operação, tempo suficiente para que a coluna avaliada possa entrar em regime permanente, a vazão de alimentação é checada e amostras de concentrado e de rejeito são coletadas, com intervalos de tempos pré-definidos entre uma coleta e outra (geralmente 15 a 30 min). As amostras coletadas são filtradas e secas em estufa (100-105 °C) e, em seguida, são pesadas e preparadas para análise química, para determinação dos teores dos elementos de interesse (WO_3 , CaO, P_2O_5 , SiO_2 , F) para posterior cálculo da eficiência do processo.

Na Tabela 2 a seguir são apresentadas as condições operacionais de alimentação e dosagens de reagentes utilizadas em cada ensaio de flotação em coluna.

Tabela 2 - Condições de alimentação utilizadas nos ensaios de flotação em coluna

Ensaio	% sol.	Preparação		Reagentes			
		Moagem	Deslamagem	Regulador	Dispersante/Depressor	Coletor	Espumante
E1	16	-	Não	$Na_2CO_3/NaOH$ (2,0/0,025 kg/t)	$Na_2SiO_3/FeSO_{4.7}H_2O;Q1$ (2,0/0,4;0,25) kg/t	Flotador-FS2 (150 g/t)	MIBC (50 g/t)
E2	14	20 min	HC (1x)	Na_2CO_3 (5,0 kg/t)	$Na_2SiO_3;Q1$ (1,0;0,15) kg/t	AERO 726 (150 g/t)	MIBC (50 g/t)
E3	15	12 min	HC (1x)	Na_2CO_3 (2,5 kg/t)	$Na_2SiO_3;Q1$ (1,0;0,15) kg/t	AERO 726 (150 g/t)	MIBC (50 g/t)
E4	15	17 min	HC (1x)	Na_2CO_3 (2,5 kg/t)	$Na_2SiO_3;Q1$ (1,0;0,15) kg/t	AERO 726 (150 g/t)	MIBC (50 g/t)
E5	15	20 min	HC (2x)	Na_2CO_3 (2,5 kg/t)	$Na_2SiO_3/FeCl_3;Ác. tânico$ (1,0/0,2;0,25) kg/t	AERO 845 (250 g/t)	MIBC (50 g/t)
E6	13	18 min	HC (2x)	Na_2CO_3 (2,5 kg/t)	$Na_2SiO_3/FeSO_{4.7}H_2O;Q1$ (1,0/0,2;0,15-0,25) kg/t	AERO 845 (150-250 g/t)	MIBC (50 g/t)
E7	14	18 min	HC (2x)	Na_2CO_3 (2,5 kg/t)	$Na_2SiO_3;Q1$ (1,0;0,25-0,33) kg/t	AERO 726 (115-150 g/t)	MIBC (50 g/t)

Assim como nos ensaios de flotação de bancada, todos os ensaios de flotação em coluna foram realizados com o material classificado em 300 μm (48 Mesh), por meio de uma peneira vibratória horizontal de 500 x 500 mm (Top Size, PNM 01-15), sendo utilizado o produto passante e descartado o retido de baixo teor de WO_3 .

3. RESULTADOS e DISCUSSÃO

3.1 Análises granulométricas dos ensaios de flotação em coluna

Nas Figura 6 são apresentadas as análises granulométricas da polpa de alimentação realizadas no início e no fim dos Ensaios 2 a 7 de flotação em coluna, visando verificar a homogeneização das partículas do tanque da alimentação da flotação.

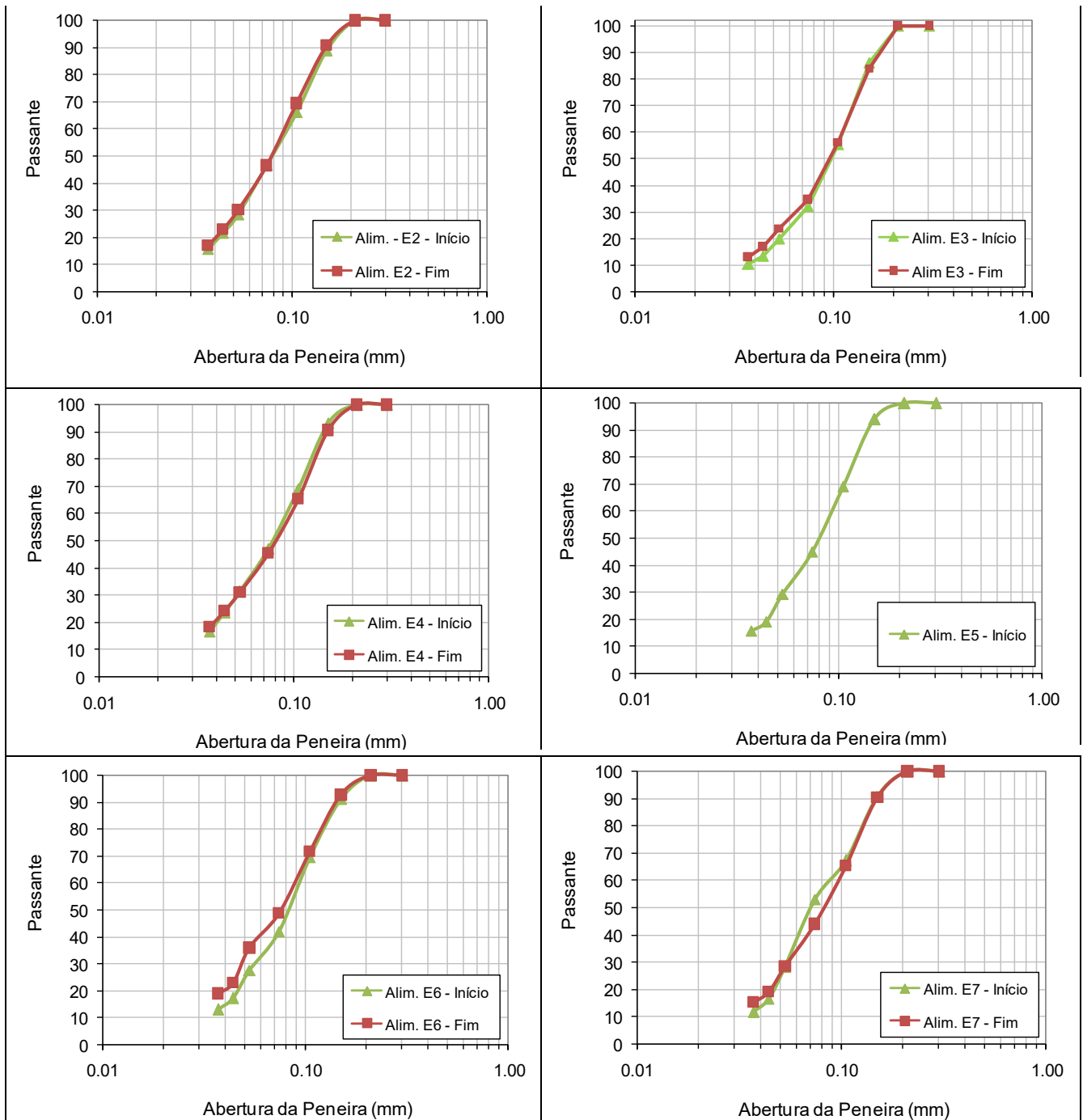


Figura 6 – Análises granulométricas da alimentação no início e no fim dos ensaios de flotação em coluna

Observa-se que houve pouca ou muito pouca variação das curvas de distribuição granulométrica das partículas no início e no final dos ensaios, evidenciando uma boa homogeneização da polpa no tanque de alimentação, alcançada, principalmente, com a recirculação da mesma no tanque com auxílio de uma bomba centrífuga externa.

3.2 Flotação em coluna

Os resultados são apresentados na Tabela 3, onde são mostrados os cálculos de recuperação em massa ($R_{mássica}$), assim como a recuperação metalúrgica (RM) de cada etapa e global para cada ensaio. Para os ensaios 1 (material apenas classificado em 0,300 mm) e 4 (menor tempo de moagem) não serão apresentados resultados em função de problemas de entupimentos das mangueiras de bombeamento de polpa e comportamento hidrodinâmico desfavorável (instável) da polpa no interior da coluna, ocorridos provavelmente em função da granulometria mais grosseira das partículas. Em alguns ensaios foram realizadas mudanças nas condições operacionais da coluna como, por exemplo, na velocidade superficial de ar ou dosagem de algum reagente, e registradas na coluna “Etapa” da Tabela 3. Cumpre destacar que após cada mudança operacional efetuada, as amostragens de concentrado e rejeito, necessárias para ao balanço de massa e metalúrgico, foram realizadas após um tempo mínimo de 30 min (2x o tempo de residência teórico da coluna), visando a estabilização do regime permanente da nova condição.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de flotação em coluna para WO_3 descritos na Tabela 3

Ensaio	Etapa - Variáveis	WO_3 (%)		R_m (%)	RM - E (%)	RM - G (%)
		Rejeito	Concentrado			
2	A (CP)	0,06	0,63	22,2	74,8	63,9
	B ($J_g=1,0$ cm/s)	0,05	0,59	23,6	78,5	67,0
	C ($J_g=0,5$ cm/s)	0,09	0,77	29,2	77,9	66,5
	Global	0,07	0,66	25,0	77,1	65,8
3	CP	0,08	0,40	19,5	55,6	48,1
5	CP	0,07	1,4	3,9	45,7	39,3
6	A* (AF 150 e Q1 250) g/t	0,05	3,8	3,5	66,0	58,7
	B* (AF 250 e Q1 150) g/t	0,07	4,3	3,0	64,7	57,6
7	($J_g=1,0/J_w=0,2$) cm/s	0,05	1,15	13,4	78,7	66,3

Notação:

R_m - Recuperação mássica; RM - Recuperação metalúrgica; E - Etapa (flotação); G - Global (considerando as perdas na classificação e deslamagem); CP - Condição padrão: Velocidade superficial do ar (J_g), da água de lavagem (J_w) e de alimentação (J_f) iguais a 1,5; 0,2 e 0,62 cm/s, respectivamente. * $J_g = 0,5$ cm/s

Observa-se que no ensaio 2 foram obtidas boas recuperações metalúrgicas de WO_3 na etapa de flotação, próximo de 77% e global de 66%, porém com teores no concentrado na faixa

de 0,7% e recuperações mássicas no concentrado altas (~25%). Conforme esperado, com a diminuição da velocidade superficial do ar (J_g) relacionado à diminuição da vazão de ar, houve um aumento do teor de WO_3 no concentrado em função do menor tamanho de bolhas geradas e melhor ação de limpeza da água de lavagem empregada. No ensaio 3, ainda que tenha sido utilizando os mesmos reagentes, o desempenho foi pior em termos de RM e teor de WO_3 no concentrado, provavelmente devido ao menor tempo de moagem empregado, ou seja, menor liberação das partículas de Scheelita, prejudicando o processo de flotação.

Já no ensaio 5 foi alcançado um teor de WO_3 no concentrado de 1,4% aliado à menor recuperação mássica, 4%. Assim como observado nos ensaios de flotação em bancada, este resultado está associado ao coletor AERO 845, de melhor seletividade para Scheelita, porém, neste ensaio, ainda com a RM na flotação aquém do desejado (~46%).

O melhor resultado em termos de teor de WO_3 no concentrado foi obtido com o ensaio 6 nas duas condições de reagentes testadas A e B (3,8 e 4,3% de WO_3), com um RM no concentrado em torno de 65% e global de 58%, provavelmente devido a utilização da mistura conhecida como hidrosol (solução de silicato de sódio e sulfato ferroso hidratado), mais o quebracho, que se mostraram muito eficientes em relação à seletividade e recuperação do processo.

Com relação ao ensaio 7, obteve-se boas recuperações metalúrgicas de WO_3 na etapa de flotação, similar ao ensaio 2 (79% e global de 66%), porém com melhores teores de WO_3 no concentrado 1,2% e recuperações mássicas na faixa de 13%, sendo uma boa opção para gerar massa visando ensaios futuros de flotação *cleaner*, em que o foco será o aumento do teor WO_3 .

4. CONCLUSÕES

O processo de flotação em coluna para concentração de scheelita mostrou-se muito promissor, possibilitando alcançar melhores resultados de eficiência do processo comparado com a flotação mecânica convencional de bancada.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AQUINO, J.A., OLIVEIRA, M.L.M., FERNANDES, M.D. Flotação em Colunas, in: **Tratamento de Minérios**, 5th Ed., Luz, A.B., Sampaio, J.A., França, S.C.A. (Eds.), CETEM/MCT, 2010. Rio de Janeiro, p. 517-556.

COUTO, H. J. B., CORREIA, J. C. G., LEANDRO, A. P., SOUZA, O. O., ANDRE, T. C. S. S. Caracterização e concentração por flotação de scheelita proveniente de um rejeito In: **XXVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**, 2015, Poços de Caldas., 2015. v.2. p.374 - 383

FINCH, J.A., DOBBY G.S. **Column Flotation**, Pergamon Press, 1st Ed., 1990

DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS E EQUIPAMENTO INTEGRADO AO APL OPALA DA REGIÃO DE PEDRO II

Francisco Wilson Hollanda Vidal ¹, *Carlos Alberto Melo Santos* ², *Leonardo Cattabriga Freire* ³

¹ Engenheiro de Minas, Tecnologista Sênior, Centro de Tecnologia Mineral

² Técnico Químico, Centro de Tecnologia Mineral

³ Eng. Petróleo e Gás, Técnico em Tratamento de Minério, Filiação institucional

fhollanda@cetem.gov.br

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo a pesquisa tecnológica realizada em Pedro II – PI, na mina do Boi Morto, visando a obtenção de dados para o desenvolvimento de máquinas e equipamentos de lavra e de beneficiamento da Opala.

A região de Pedro II é a única produtora da gema OPALA PRECIOSA em todo o Brasil. Quanto às suas qualidades mineralógicas e gemológicas, a opala encontrada nesta área é considerada sem igual no mundo, com beleza semelhante às opalas encontradas na Austrália, confundindo-se com as mesmas no mercado mundial. O objetivo geral foi estudar os resíduos da mina do Boi Morto (aproximadamente 2.500.000 toneladas) para o aproveitamento e recuperação das Opalas ainda existentes e dos subprodutos da mineração (brita e areia) e, com o descarte da lama em bacias de decantação; caracterização tecnológica do minério, resíduos e estéreis para definição de técnicas de lavra, disposição e aproveitamento de resíduos e caracterização e agregação de valor das Opalas (gemas) com ênfase na joalheria e design; desenvolver projeto dos equipamentos de mineração: máquina lavadora e classificadora de minérios – tipo lavador de tambor (*Trommel*), melhorias das condições de trabalho e da atividade extrativa mineral, incluindo os parâmetros ambientais, incorporando tecnologias apropriadas e capacitação dos micro e pequenos empresários; contribuir com a prática da produção mais limpa e com o desenvolvimento sustentável. O *Trommel* é um equipamento que pode ser movido facilmente. Ele executa dois principais tipos de beneficiamento: classificação por peneiramento e separação por densidade. São projetados para ensaios ou produção em pequena escala, contudo podem ser dimensionados para capacidades de produção maiores. O equipamento em que foram realizados inicialmente os

ensaios possui uma vazão aproximada de 1500 a 6000 litros de material por hora. Na classificação inicial à úmido do material (resíduo da Mina do Boi Morto) no *Trommel*, recuperou-se 60,21% de cascalho (fração > 20#), ou seja, o material contendo as Opalas preciosas à serem recuperadas, com um descarte de 39,57% de lama (fração < 100#) e 0,22 % de brita.(fração > 20#). Os ensaios realizados permitiram concluir que a introdução de um *Trommel* na lavagem e classificação do cascalho para posterior catação manual das Opalas, é altamente eficiente, pois obtivemos uma recuperação de até 204 g/t de Opalas preciosas em um material (resíduo < 3#) que é descartado na lavagem feita pelos garimpeiros na Mina Boi Morto.

Palavras chave: opala, tecnologia opala, equipamento opala.

ABSTRACT

This work aims to present the technological research conducted in Pedro II-PI, in the Boi Morto Mine, in order to provide informations for development of machines and equipments to be used on the opal mining and beneficiation. The Pedro II region is the unique producer of opal precious gems in Brazil. In relation to their mineralogical and gemological qualities, the opal from Pedro II region is unique all over the world, its beauty is equal to the opals from Australia, confounding with them in the world market. The general objective of this work aims to study the residues from Boi Morto Mine, approximately 2,500,000 t, to recovery the opal still content, as well the tailing as byproduct (aggregate for civil construction) and the slime will be disposed in tailing dam; technological characterization of the ore, residues and waste rock for definition of mining techniques, residues and disposal, recovery of tailing and residues and characterization and aggregation of value to the opal, with emphases in jewelry and design; develop of machinery for mining; washer machinery and classifier of ore – trommel, improving the work conditions of the extractive mineral activities, including the environmental parameters, incorporating adequate technologies and capacity of the micro and small enterprise; contribute to clean production and sustainable development. The trommel is an equipment that can be operated easily. This equipment executes two kind of beneficiation: classification by screening and separation by density. These are designed for test work or production in small scale, therefore it can be designed for production in larger industrial scale. The equipment firstly used for conducting tests has a processing capacity of 1500 to 6000 L/h of material. In the first step, wet classification of this

material (residue from Boi Morto) by using trommel recovered 60.21% gravel (> 20 mesh) and so, this material contains precious opal to be recovered, wasting 39.57% slime (< 100 mesh) and 0,22% aggregate (> 20 mesh). With the tests using trommel it was possible to conclude that the introduction of trommel for washing and classification of gravel for hand sorting of opal, showed to be high efficient, in which it was recovered 204 g/t of precious opal in material (residue < 3 mesh) normally wasted in the washing conducted by the prospectors (garimpeiros) in the Boi Morto Mine.

Key words: opal, gem opal, precious opal, opal technology.

1. INTRODUÇÃO

A Mina inativa do Boi Morto, nos arredores da Cidade de Pedro II, atualmente faz parte da área destinada à Permissão de Lavra Garimpeira (PLG) da cooperativa de garimpeiros de Pedro II - COOGP. O método de lavra na Mina do Boi Morto é rudimentar é de baixa produtividade, gerando um grande volume de resíduo, com potencial para recuperação da opala preciosa. A extração de opala atualmente é lavra manual a céu aberto, de uma antiga companhia de mineração, que explotava essa jazida, geralmente com resíduo de dimensões abaixo de um centímetro. Cerca de 35 homens se dedicam a esta ocupação em tempo parcial, uma vez que a maioria dos garimpeiros ocupa-se também da lavoura, sobretudo no início da época chuvosa.

Em todas as frentes de lavra visitadas, observou-se como fator preponderante para lucratividade da atividade de extração de opala, não só a espessura do aluvião, como também o volume de água que deve ser bombeada. Em estudos realizados pelo CETEM, identificou-se um percentual de opalas contidas nos resíduos existentes na Mina do Boi Morto, apresentando uma viabilidade econômica para extração manual, com a remoção do resíduo.

Para a melhoria da lavra foi realizado um levantamento das condições locais de geologia, topografia, lavra e ambientais, visando soluções de manejo e tipo de remoção dos resíduos dispostos, que alcançavam a altura de aproximadamente 30 metros, servindo também como forma de prevenção de acidentes, comuns com os trabalhos manuais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Resíduos de Opala

Os resíduos de opala utilizados para a realização dos estudos de caracterização tecnológica e de beneficiamento, são oriundos da lavra da mina Boi Morto, localizada no município de Pedro II, única produtora da gema OPALA PRECIOSA, em todo o Brasil.

2.2 Caracterização das Opalas

Para o desenvolvimento da caracterização mineralógica das opalas foi realizada uma vasta pesquisa e estudo bibliográfico, onde mais de 550 artigos incluindo teses e monografias foram estudadas, o que serviu para coletar o maior número possível de informações a respeito das diversas ocorrências e tipos de opala no mundo, com ênfase nas opalas de Pedro II, e conhecer em detalhe as técnicas de caracterização empregadas no estudo de opalas. A coleta de amostras foi feita durante uma visita, no início do projeto, à cidade de Pedro II – PI e seus principais garimpos. Foram cedidas, pelo empresário Juscelino Souza, mais de 300 amostras de opala para a caracterização.

De posse das amostras foi dado início à caracterização mineralógica e gemológica nos laboratórios do CETEM.

2.3 Aproveitamento de Resíduos

Foram estudados os resíduos de lavra acumulados de forma desordenada, na Mina do Boi Morto, por cerca de 40 anos, com o objetivo de aproveitamento e recuperação das opalas ainda existentes e dos sub-produtos da mineração (brita e areia).

Para tanto, foi realizada a caracterização tecnológica do minério, resíduos e estéreis para definição de técnicas de lavra, disposição, caracterização e aproveitamento de resíduos, agregação de valor das opalas (gemas) com ênfase na joalheria e design. Foi desenvolvido também um equipamento de mineração: máquina lavadora e classificadora de minérios – tipo lavador de tambor (*Trommel*) para o aproveitamento dos resíduos.

Na primeira etapa, o *Trommel* adaptado nesta pesquisa é um equipamento portátil, que pode ser movido facilmente, pois possui pequenas rodas. Esse executa duas principais etapas de concentração: classificação por peneiramento e separação por densidade. Na segunda etapa, o referido equipamento desenvolvido foi, inicialmente, colocado em operação por técnicos do CETEM e a seguir disponibilizado para que os garimpeiros pudessem utilizá-lo, em substituição à metodologia de catação manual.

3. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

3.1 Primeira Etapa

Nesta etapa da pesquisa, foram realizados ensaios para controle das vazões e realizado um balanço de massas mais preciso das operações de concentração. O fluxograma, na Figura 1, apresenta as etapas desenvolvidas utilizadas nesta pesquisa. O equipamento utilizado nessa etapa foi o *Trommel* Gold Saver. (Figura 2)

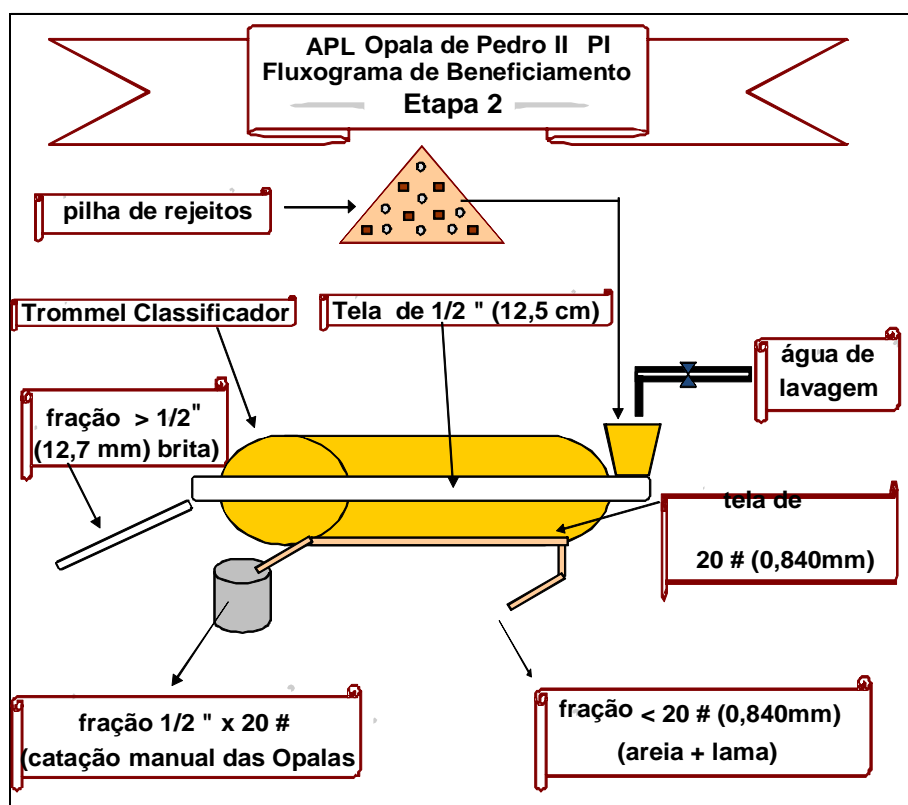


Figura 1 – Fluxograma de operação utilizado na primeira etapa do projeto (Elaboração dos autores).



Figura 2 – *Trommel Gold Saver* utilizado na primeira etapa do projeto (Elaboração dos autores).

A Tabela 1 apresenta os resultados dos ensaios 7, 8 e 9, onde mostra os parâmetros obtidos nos balanço de massa dos ensaios realizados. A vazão média de alimentação nos ensaios foi de 951 Kg/h de sólidos e 7.210 L/h de polpa. A recuperação do material > 20# (0,84 mm) foi muito pequena devido à qualidade do material processado, ou seja, resíduos com grande quantidade de areia e lama e pouco cascalho.

Tabela 1. Separação em meio denso dos produtos da mesagem (CETEM, 2015).

Ensaio	Produtos	Balanço de Massas						
		Vazão Polpa (L/h)	Vazão Sólidos (kg/h)	(%) Sólidos	Rec. massa (%)	massa Opala (g)	Rec. Opala(g/t) Fração > 20#	Rec. Opala(g/t) Alimentação
7	Fração > 20#	5,9	2,332	38,87	0,22	1,32	681	42,58
	Fração 20 x 100#	5.598,3	639,936	18,52	60,21	-	-	-
	Fração < 100#	2.538,8	420,617	-	39,57	-	-	-
	Alimentação	8.143,0	1.062,885	18,34	100,00	-	-	-
8	Fração > 20#	4,2	3,044	47,57	0,38	1,07	750	34,52
	Fração 20 x 100#	3.319,0	572,314	16,49	71,17	-	-	-
	Fração < 100#	2.783,8	228,752	-	28,45	-	-	-
	Alimentação	6.107,0	804,110	20,05	100,00	-	-	-
9	Fração > 20#	5,0	6,398	59,24	0,65	0,70	328	22,58
	Fração 20 x 100#	4.225,0	772,214	22,02	78,17	-	-	-
	Fração < 100#	3.150,1	209,220	-	21,18	-	-	-
	Alimentação	7.380,1	987,832	20,12	100,00	-	-	-

Os ensaios realizados nos permitiram concluir que a introdução de um *Trommel* na lavagem e classificação do cascalho para posterior catação manual das Opalas, é altamente eficiente, pois obtivemos uma recuperação de até 42,58 g/t de Opalas preciosas em um material (resíduo < 3#) que é descartado na lavagem feita pelos garimpeiros na Mina Boi Morto.

Observou-se que é essencial o uso de água na lavagem do material classificado no *Trommel*, devido à quantidade de lama (4–10%) e areia (4-18%) ainda presente no material > 20# (0,84 mm).

Os estudos realizados recomendam a concentração de Opalas preciosas apenas nas bancadas de resíduos estudadas, não servindo como parâmetro para avaliar as concentrações de Opalas preciosas em toda a Mina.

O produto > 20# (0,84 mm) foi classificado no Gold Saver em várias frações granulométricas, apenas para facilitar a contagem das Opalas preciosas.

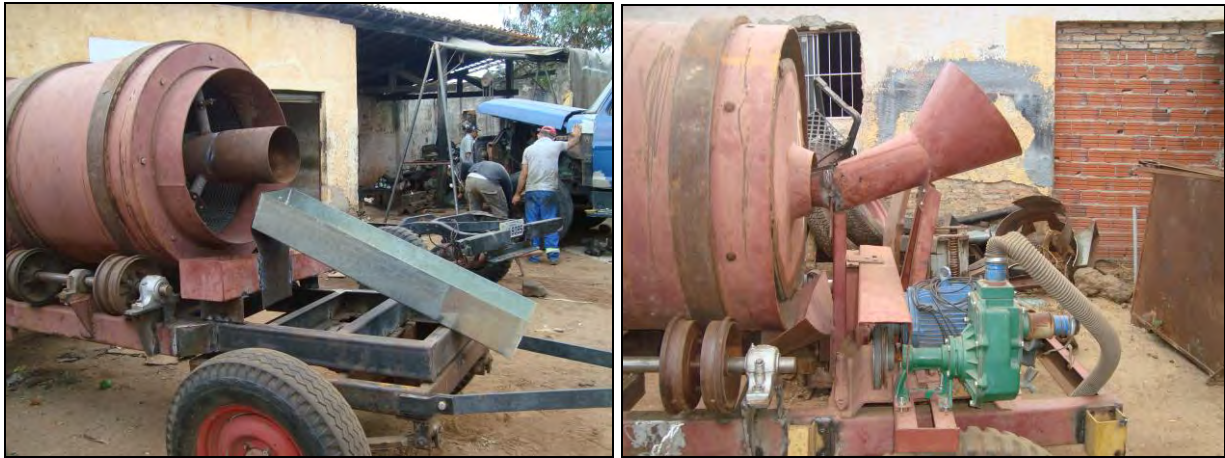
A determinação das Opalas preciosas na fração 10 x 20 # foi feita em laboratório, com o auxílio de uma Lupa de Pala, devido ao pequeno tamanho das pedras preciosas. (Figura 3)



Figura 3 – Opalas retiradas da bancada de resíduo utilizado da Mina do Boi Morto. (Elaboração dos autores).

3.2 Segunda Etapa

Com base nos resultados obtidos na primeira etapa deste trabalho, foram realizadas as adaptações necessárias no projeto do equipamento para ser fabricado um novo *Trommel* com capacidade superior ao da primeira etapa. (Figuras 4 e 5)



Figuras 4 e 5 – *Trommel* adaptado para separação das frações. (Elaboração dos autores).

O equipamento possui uma capacidade aproximada (segundo o fabricante) de 1500 a 6000 litros de material por hora. Durante o processamento, a alimentação da amostra no circuito entra pelo alimentador acoplado ao *Trommel*, sendo classificada em uma tela de 20# (0,84 mm). O produto passante (< 20#) é alimentado, a seguir, em uma tela pré-definida de peneiramento (100#), que está situada em uma comporta na parte inferior do equipamento. Esta comporta vibra durante o processamento, separando a areia (fração 20 x 100#) da lama (fração < 100#).

A recuperação de opalas preciosas e semi-preciosas (204 g/t), utilizada na fabricação de jóias (Figura 6), foi muito eficiente nessa etapa do projeto, conforme nos mostra a Figura 7. As retificações feitas no equipamento deram um resultado aceitável em termos de operacionalidade e facilidade de locomoção.



Figura 6 – Joias confeccionadas por mosaico de resíduos de Opalas obtidas dos cascalhos. (Elaboração dos autores).


 Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT Centro de Tecnologia Mineral - CETEM Coordenação de Apoio Técnico a Micro e Pequenas Empresas - CATE Serviço de Apoio aos Arranjos Produtivos Locais - SAPL Projeto: APL - Opala de Pedro II - Etapa 2 Material: Resíduo da Mina Boi Morto (COOGP) Teste: 01 Data: 30/10/2013						
Produtos	Balanco de Massas					
	T (seg.)	m _s (g)	Vazão Sólidos (kg/h)	Peso (%)		
Fração > 1/2"	30	3.276,00	393,120	9,27		
Fração 1/2" x 20 #	30	2.209,42	265,130	6,25		
Fração < 20 #	pl/diferença	60.514,58	3.584,607	84,49		
Total				100,00		
Alimentação	56	66.000,00	4.242,857			
Obs.: Não calculamos as vazões de polpa devido a dificuldade de medir a vazão de água, bombeada de um carro pipa.						
Classificação da Fração > 20 # p/ contagem de Opalas preciosas e semi-preciosas						
Fração	Peso(g)	Peso(%)	Peso(g) Opala	Peso(%) Opala	Recup. Opala(g/t) Fração > 20#	Recup. Opala(g/t) Alimentação
1,2" x 3,5#	1.741,34	78,81	0,29	64,44	131	4,39
3,5 x 6#	259,87	11,76	0,11	24,44	50	1,67
6 x 10#	31,41	1,42	0,02	4,44	9	0,30
10 x 20#	12,81	0,58	0,03	6,67	14	0,45
< 20# (pl/dif.)	163,99	7,42	-	-	-	-
Total	2.209,42	100,00	0,45	100,00	-	-
Cálculo da Recuperação de Opalas na Fração > 20# (g/t)					204	-
Cálculo da Recuperação de Opalas na Alimentação (g/t)					6,8	-
Obs.: Os cálculos foram feitos, tomando-se como base o fato de não existirem Opalas nas frações < 20 #. (estudos feitos no CETEM).						

Figura 7 – Balanço de massas e recuperação de opalas preciosas na etapa 2 do projeto (Elaboração dos autores).

3.3 Recuperação Ambiental

Os testes foram realizados na Oficina da Obra Kolping, visando o aproveitamento do material < 20 # (areia + lama) na fabricação dos Tijolos ecológicos.

3.3.1 Tijolo Ecológico

Um das atividades para melhoria do aproveitamento do resíduo da Mina de Boi Morto foi acompanhar o processo da fabricação de tijolos ecológicos, na ONG Kolping, onde há uma oficina que tem a proposta de utilizar as frações areia e argila (lama) do resíduo da Mina, como matéria prima. (Figuras 8 e 9)



Figuras 8 e 9 – Protótipo de unidade de processamento de artefatos para a construção civil e Tijolos confeccionados a partir dos rejeitos da extração de opalas. (Elaboração dos autores).

A tabela 2 apresenta os ensaios de resistência a compressão uniaxial realizados com os resíduos obtidos nos ensaios com o *Trommel*. Esses ensaios foram realizados na empresa “Kolping”, na cidade de Pedro II – PI.

Tabela 2. Resumo dos ensaios realizados na primeira etapa. (CETEM, 2015)

Ensaio	Produtos	massa (g)	Força kN	Tensão Mpa
1	Areia < 20#	2.275	32,85	15,97
	cimento	325		
	água	260		
	Total	2.860		
2	Areia 20 x 100#	2.275	27,48	11,57
	cimento	325		
	água	260		
	Total	2.860		
3	Areia < 20#	1.137,5	17,46	3,62
	Argila da Kolping	1.137,5		
	cimento	325		
	água	260		
	Total	2.860		
Obs : tijolo fabricado na Kolping = 2.700 g canaleta fabricada na Kolping = 1.300 g				

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão uniaxial feitos com os tijolos ecológicos fabricados na “Kolping”, em Pedro II, nos permitem concluir que podemos utilizar o material descartado do *Trommel* (areia + lama) na fabricação dos tijolos ecológicos.

4. CONCLUSÕES

O Projeto Cooperativo em Rede do Arranjo Produtivo de Opala na Região de Pedro II –PI, teve por objetivo aumentar a produtividade e consolidar a cadeia produtiva da opala por meio de uma abordagem sistêmica e cooperativa incluindo algumas etapas de agregação de valor, pesquisa mineral, lavra, beneficiamento, lapidação, design, joalheria, comercialização, promoção comercial e gestão. Dado o exposto muito do objetivo do trabalho foi alcançado como contribuições e resultados desenvolvidos principalmente no que diz respeito ao que foi abordado.

O desenvolvimento tecnológico para aproveitamento de resíduo e co-produtos da mineração, lapidação e joalheria realizado na Mina do Boi Morto, a partir de amostras beneficiadas no *Trommel*, demonstraram uma boa recuperação de opalas, principalmente nas frações < ½ “ + 20 #. Estas frações recuperadas podem ser aproveitadas na fabricação de joias com mosaico de opalas, reduzindo assim o passivo ambiental provocado pelo depósito do resíduo de Boi Morto.

Quanto ao benefício ambiental trazido pelo uso dos tijolos ecológicos fabricados a partir da utilização dos resíduos da mina do Boi Morto, sua fabricação reduz o passivo ambiental sendo que os artefatos de construção civil produzidos farão parte do projeto de construção de uma vila casas para os garimpeiros sob a gestão da ONG Kolping.

Recomendamos que futuros ensaios sejam realizados na própria Mina do Boi Morto, onde se tem uma facilidade maior de água (bomba d'água e poço artesiano) e dispõe-se de um gerador para operação dos equipamentos.

Quanto ao mapeamento e cadastramento de frente de lavras na região de Pedro II teve um ganho, no que diz respeito ao conhecimento geológico, embora exista ainda muito a ser realizado como o detalhamento maior nas áreas consideradas prioritárias.

Verificou-se que o mapeamento e o levantamento dos pontos de interesse geoturísticos de Pedro II demonstraram a sua potencialidade turística. A elaboração de um banco de dados georreferenciados dos equipamentos voltados ao turismo, segmentados, estabeleceram parâmetros da vocação da atividade turística no município. Foi possível elaborar um diagnóstico do patrimônio geológico para o desenvolvimento da atividade turística, com perspectiva de intervenções, visando estabelecer roteiros geoturísticos, com base na análise dos cenários existentes. Tendo em vista o potencial geoturístico do município de Pedro II, e sendo observada a

subutilização de alguns atrativos, surge a possibilidade de implantação do projeto geoturístico como um segmento turístico representativo.

Por se encontrar em uma região com enorme carência de projetos de desenvolvimento econômico, pois o Piauí abriga oito dos dez municípios de menor Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do Brasil, esse tipo de ação do arranjo produtivo surge como uma possibilidade de melhora nas condições socioeconômicas do município, podendo ser aplicado em outros municípios do estado, já que há ocorrência de opalas de fogo em Buriti dos Montes. A consolidação do arranjo produtivo da Opala, na região de Pedro II, gera a possibilidade de desenvolvimento socioeconômico, diminuindo o deslocamento da população em busca de trabalho, aumentando a renda da população local através da comercialização das gemas, joias e artesanato, além da oferta de turismo de base comunitária.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

VIDAL, F. W. H. Projeto Cooperativo do Arranjo Produtivo de Opala nos municípios de Pedro II e Buriti dos Montes - Etapa 2 (RRM-0009-00-14).

VIDAL, F. W. H. ; MORAES M. ; PINTO D. Projeto de Desenvolvimento de Tecnologias e Equipamentos Integrado ao APL Opala da região de Pedro II (FADEX/2008).

SANTOS, C. A. M. Projeto Arranjo Produtivo Local da Região de Pedro II do Piauí (RT-2008-01).

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO VISANDO O MELHOR APROVEITAMENTO NAS ETAPAS DE BENEFICIAMENTO MINERAL

*Defsson Douglas de Araújo Ferreira*¹, *Vinícius Rewel do Nascimento* *Cordeiro*², *José Ian Farias Santos*³, *Adriana Lemos Porto*⁴

¹ Discente, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – Campus Campina Grande
Rua Tranquilino Coelho Lemos, Dinamérica- Campina Grande - PB (Brasil) ifpb.edu.br

² Discente, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – Campus Campina Grande
Rua Tranquilino Coelho Lemos, Dinamérica- Campina Grande - PB (Brasil) ifpb.edu.br

³ Discente, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – Campus Campina Grande
Rua Tranquilino Coelho Lemos, Dinamérica- Campina Grande - PB (Brasil) ifpb.edu.br

⁴ Docente, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – Campus Campina Grande
Rua Tranquilino Coelho Lemos, Dinamérica- Campina Grande - PB (Brasil) ifpb.edu.br

viniciusrewel@gmail.com

RESUMO

O minério de ferro está dentre as substâncias mais importantes para a manutenção do padrão tecnológico atual e, por este motivo, apresenta-se como um recurso mineral bastante demandado no mundo inteiro. Atualmente, o Brasil é o segundo maior produtor desse insumo no mundo, detendo cerca de 17% da produção mundial. Apesar de ser um dos metais de maior incidência na crosta terrestre, o minério de ferro vem apresentando progressiva exaustão de algumas reservas minerais de teor elevado devido a sua utilização em larga escala. Nesse sentido, torna-se de fundamental importância, fazer o devido aproveitamento das reservas minerais de médio a baixo teor de ferro contendo elevada concentração de minerais de ganga, geralmente quartzo e mica. O processo de beneficiamento ou tratamento de minério de ferro consiste de operações que buscam modificar a granulometria, a concentração relativa e/ou a forma dos minerais, sem que haja a modificação das propriedades físico-químicas destes. Visando encontrar rotas para aproveitamento de rejeitos de minério de ferro, foram analisadas amostras de concentrado e rejeito de uma mina localizada no estado do Ceará. Primeiramente o material foi homogeneizado e quarteado, em seguida foram feitos ensaios de peneiramento. Após essa etapa, separamos uma pequena fração de partículas de cada faixa granulométrica (300µm, 180µm, 125 µm e -125µm) e através da aplicação do método de Galdin, determinamos o grau de liberação das partículas de ferro. Além disso, foram estimadas propriedades físicas de amostras - tais como: porosidade,

densidade dos grãos e volume de grãos por meio da picnometria a gás. Analisando os resultados obtidos, concluímos que na faixa granulométrica passante de 125 μ m o ferro apresenta o melhor percentual de partículas liberadas (70,91%), comparado às demais granulométricas. Com relação às propriedades físicas das amostras, foi calculada uma densidade de aproximadamente 4,4 g/cm³ para a amostra do concentrado e 3 g/cm³ para o rejeito, e os valores de porosidade e volume de poros mostram que a amostra de rejeitos tem porosidade superior à do concentrado.

PALAVRAS-CHAVE: minério de ferro, aproveitamento, liberação.

ABSTRACT

The iron ore is among the most important substances for maintaining the technological standard, and therefore, presents as well a mineral resource demanded worldwide. Currently, Brazil is the second largest producer of the raw material in the world, holding about 17% of world production. Despite being one of the highest incidence of metals in the earth's crust, iron ore has been showing gradual exhaustion of some mineral reserves of high content due to its large-scale use. In this sense, it is of fundamental importance to the proper utilization of mineral reserves of medium to low iron containing high concentration of gangue minerals, usually quartz and mica. The beneficiation process or treatment of iron ore consists of seek operations that modify particle size, relative concentration and / or the form of minerals, without modifying the physicochemical properties thereof. Aimed at finding routes to utilization of iron ore tailings, concentrate samples were analyzed and tailings from a mine in the state of Ceará. First the material was homogenised and quarteado then sieving was done (using sieves 50, # 80 and 120). After this step, we separate a small fraction of particles of each particle size range (50, 80, and # 120, # -120) and by applying the method Galdin determine the degree of release of the iron particles. In addition, physical properties were estimated samples - such as porosity, grain density, volume grãos- by gas pycnometry. Analyzing the results obtained, we conclude that the passing particle size range of 120 # iron has the highest level of 70.91% compared to the other particle sizes. With respect to physical properties of the samples, a density of approximately 4.4 g / m³ of the concentrated sample and 3 g / cm³ for the tailing was calculated, and porosity values show that the sample of tailings has superior porosity of the concentrated.

KEYWORDS: iron ore, use, release.

1. INTRODUÇÃO

O minério de ferro é uma substância mineral que, quando aquecida na presença de um redutor, irá produzir ferro metálico (Fe), e consiste quase sempre em óxidos de ferro, com as formas primárias sendo a magnetita (Fe_3O_4) e a hematita (Fe_2O_3). O minério de ferro é a principal fonte de ferro do mundo e indústrias siderúrgicas, portanto, é essencial para a produção de aço, que por sua vez é essencial para manter uma forte indústria de base.

O Tratamento ou Beneficiamento de minérios consistem de operações que buscam modificar a granulometria, a concentração relativa e/ou a forma dos minerais, sem que haja a modificação das identidades química e física destes. Desta maneira, visa-se, através de operações de concentração, remover os minerais de ganga (conjunto de minerais não aproveitáveis de um minério) dos minerais de minério (minerais valiosos, passíveis de serem explorados economicamente).

Os produtos gerados pelos processos de concentração mineral são: concentrado com alto teor de ferro, e rejeito contendo, geralmente, um alto teor de minerais de ganga (quartzo e mica) e uma percentagem relativamente de partículas de ferro.

Reaproveitar o ferro contido no resíduo é de suma importância, para isso é necessário o conhecimento de certos parâmetros, tais como:

- Em que faixa granulométrica as partículas de ferro encontram-se mais liberadas em relação aos minerais de ganga;
- Propriedades físicas (densidade, porosidade dos grãos, volume de poros).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Determinar, através da picnometria a gás, propriedades físicas de amostras de concentrado e rejeito de minério de ferro, bem como aplicar o método de Galdin para estimar o grau de liberação em diferentes faixas granulométricas para partículas de ferro presentes no rejeito.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar a distribuição granulométrica de amostras do concentrado e rejeito;
- Determinar, por meio da análise em lupa microscópica, quais os minerais majoritários que compõem as amostras estudadas;

- Estimar, com base nos resultados obtidos, qual o tamanho ideal de partículas para a melhor recuperação do ferro contido no rejeito, como também, determinar em que tamanho o ferro encontra-se mais assimilado aos minerais de ganga;

3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Os trabalhos foram desenvolvidos em conjunto com o Laboratório de Cominuição e Concentração Mineral do Instituto Federal da Paraíba, Campus Campina Grande e o Laboratório de Petrofísica da Universidade Federal de Campina Grande.

As amostras de minério de ferro investigadas nessa pesquisa incluíram o concentrado e rejeito do minério de ferro proveniente de uma mina de ferro localizada no município de Quiteronópolis, estado do Ceará.

3.1 Métodos

3.1.1 Amostragem e preparação

Para realização da pesquisa cerca de 20 kg de cada material foram recolhidas. A primeira parte do trabalho foi realizar a homogeneização em pilhas cônicas da amostra total e quarteamento em frações menores (Figura 1), utilizando quarteador Jones.

Após a preparação, partes das amostras foram desagregadas, em peneira de 0,74mm, para retirar alíquotas de 0,2 kg (uma do concentrado e outra do rejeito) para serem encaminhadas aos testes de picnometria a gás. Além disso, retiraram-se frações de 1 kg para as análises de distribuição granulométrica.



Figura 1- Procedimento de homogeneização e quarteamento das amostras.

3.1.2 *Análise de distribuição granulométrica*

Visando estudar o comportamento granulométrico das amostras, foram feitos ensaios, a seco, com 1 kg de concentrado e rejeito utilizando vibrador de peneiras (peneiras de 300 a 74 μ m e fundo cego) operando com 10 minutos de ciclo 5 Hz de intensidade de vibração.

3.1.3 *Grau de Liberação*

Foram separadas pequenas frações (do rejeito) de quatro diferentes tamanhos de partículas – 300, 180, 125, e passante de 125 μ m – para aplicação do método proposto por Galdin.

Com a visualização em lupa microscópica, foi feita a separação, com auxílio de uma agulha, das fases minerais. Além disso, para cada faixa de tamanho foi feita a contagem individual de partículas de cada mineral constituinte, e partículas mistas.

Sabendo a quantidade de partículas de ferro, quantidade de partículas mistas (ferro assimilado a outro mineral), torna-se possível aplicar a equação 1 abaixo e determinar qual o percentual de partículas liberadas fisicamente em cada uma das quatro faixas granulométricas.

$$gl_i = \frac{ql_i}{ql_i + qm_i} \cdot 100$$

3.1.3 *Picnometria a gás*

Os ensaios realizados para determinar propriedade físicas foram realizados utilizando um permoporosímetro a gás, marca Corelab, modelo UltraPoroPerm 500, disponível no Laboratório de Petrofísica da Universidade Federal de Campina Grande.

Couto *et al.* (2012), afirma que a aplicação do procedimento picnométrico é prático e eficaz contribuindo com menor tempo e menor custos nos ensaios de determinação das propriedades físicas de rochas e minerais.

A medição da densidade, porosidade e demais propriedades das amostras foi realizada através da pesagem das mesmas em balança digital de precisão, em seguida, a amostra foi introduzida em um copo matriz um copo matriz acoplado ao equipamento.

Após o copo matriz ser preenchido com amostra, fez-se a pesagem e em seguida, foram realizados os ensaios no permoporosímetro a gás. Com o uso do copo matriz mediu-se o volume de grãos da amostra. A diferença entre o volume de grãos e o volume total da amostra, consiste no seu volume de vazios. Para calcular a porosidade basta determinar a razão entre o volume de vazios e o volume total.

Uma vez que a amostra se encontra seca pode-se assumir que a sua massa corresponde à massa de sua fase sólida, sendo a densidade de grãos dada pela razão entre a massa da amostra e o volume de grãos medido. Com a porosidade e a densidade de grãos pode-se estimar a densidade total da rocha desprezando a densidade do ar, que preenche os poros da rocha.

Um software instalado no computador (conectado ao permoporossímetro) em poucos instantes gera uma planilha com os dados referentes às propriedades físicas das amostras. Este procedimento foi aplicado tanto para a amostra do concentrado como a do rejeito. A figura 2 expressa de forma resumida o método aplicado.

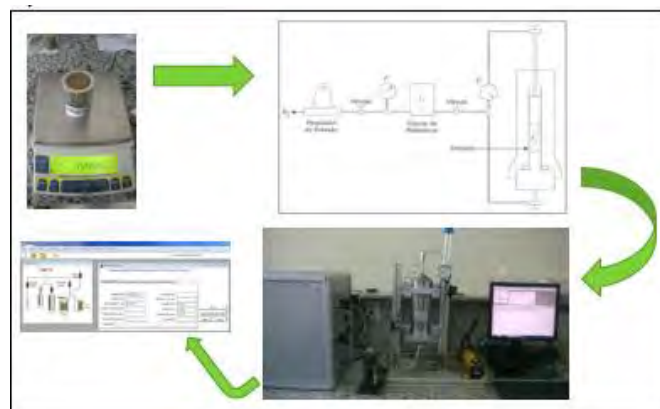


Figura 2- Fluxograma geral do procedimento para determinação de propriedades físicas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise Granulométrica

As tabelas 1 e 2 apresentam, respectivamente, os resultados obtidos após os ensaios de classificação por granulometria para as amostras de concentrado e rejeito do minério de ferro. Por meio da visualização das tabelas podemos determinar em quais faixas encontram-se as maiores massas das amostras, assim, estimar quais os tamanhos majoritários em cada caso.

Tabela 1. Representação da distribuição dos tamanhos de partícula no concentrado.

Peneira (#)	Abertura (µm)	Retido (g)	Percentagem		
			Retida	Acumulada	Passante
50	300	528	52,8	52,8	47,2
80	180	273	27,3	80,1	19,9
120	125	113	11,3	91,4	8,6
140	106	29	2,9	94,3	5,7
200	75	28	2,8	97,1	2,9
-200	74	29	2,9	100	0
Total	-	1000	-	-	-

Tabela 2. Representação da distribuição dos tamanhos de partícula no rejeito.

Peneira (#)	Abertura (μm)	Retido (g)	Porcentagem		
			Retida	Acumulada	Passante
50	300	597	59,7	59,7	40,3
80	180	219	21,9	81,6	18,4
120	125	92	9,2	90,8	9,2
140	106	27	2,7	93,5	6,5
200	75	35	3,5	97	3
-200	74	30	3	100	0
Total	-	1000	-	-	-

Os resultados obtidos mediante a análise das tabelas mostram que as duas amostras possuem, basicamente, o mesmo comportamento granulométrico. A peneira de maior abertura reteve a maioria da massa da amostra, 52,8% no concentrado e 59,7% no rejeito. Com isso, podemos definir que as amostras são compostas principalmente por grãos mais grosseiros, visto que a quantidade de material que passou para as peneiras de menor abertura (125 a $74\mu\text{m}$) foi relativamente baixa.

Na figura 3 estão representadas as curvas de distribuição granulométrica- passante em função da abertura (μm) - e nota-se um comportamento distinto na primeira peneira ($300\mu\text{m}$), entretanto, a partir da segunda peneira, a distribuição é fortemente similar entre as duas amostras.

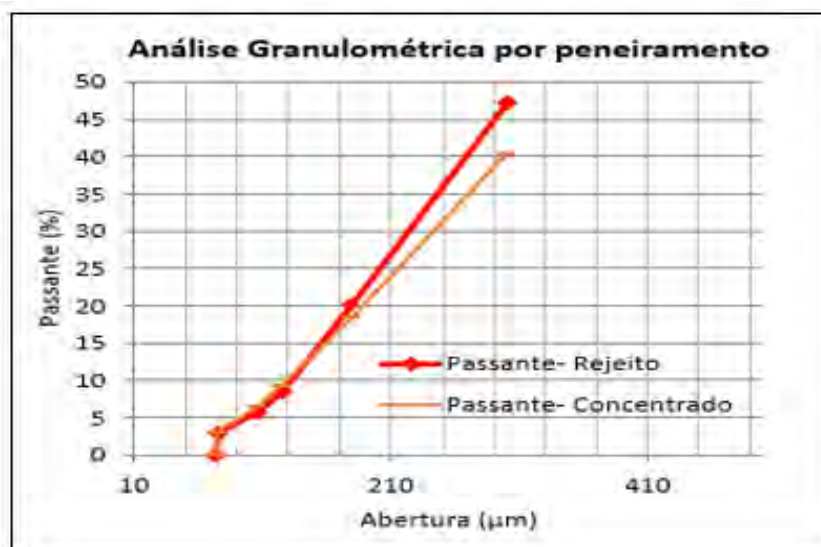


Figura 3- Gráfico com curvas de distribuição granulométrica

4.2 Grau de Liberação

A figura 4 apresenta as partículas minerais contadas e segregadas de acordo com as espécies minerais. Através da visualização em lupa, identificamos os minerais de maiores proporções que constituem as amostras. Foram identificadas partículas de: quartzo, mica, ferro, mistas (ferro e outro mineral). Entretanto, o método não é suficiente para identificação de fases minerais em menores proporções. Dessa forma, os autores desse estudo buscam ainda, submeter amostras para caracterização mineralógica por Difração de Raios-X, visando estimar os teores dos respectivos componentes. Os resultados calculados pela aplicação do método de Galdin são expressos na tabela 3.

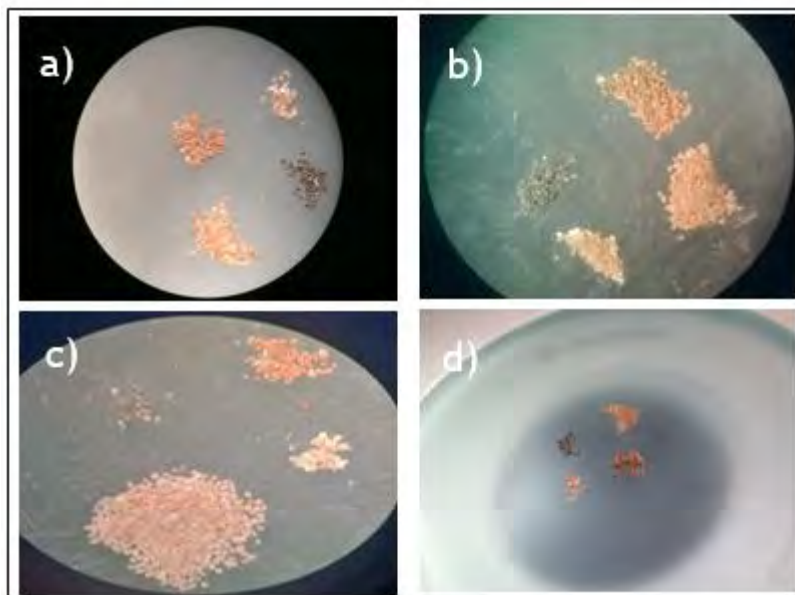


Figura 4- Separação e contagem individual de partículas de cada fase mineral: a) Retido de 300µm; b) Retido de 180µm, c) Retido de 125µm; d) Passante de 125µm.

Tabela 3: Dados e resultados da determinação do grau de liberação (*Gli*).

Granulometria	Partículas livres (Ferro)	Partículas mistas de Ferro	Equação	<i>Gli</i>
Retido de 300µm	62	105	$(62/167) \times 100$	37,13%
Retido de 180µm	98	156	$(98/254) \times 100$	39,36%
Retido de 125µm	44	98	$(44/142) \times 100$	30,99%
Passante de 125µm	233	91	$(233/324) \times 100$	70,91%

Analisando a tabela acima, vemos que, dentro as faixas granumétricas estudadas, a faixa com granulometria abaixo de 125µm possui 70,91% do ferro contido, liberado fisicamente, ou

seja, dentro da exigência para concentração mineral eficiente. Porém, nas faixas acima e 125 μ m, as partículas de ferro encontradas estavam assimiladas a outras fases minerais, detendo baixo grau de liberação.

Nesse contexto, as frações que apresentaram baixa liberação deveriam ser fragmentadas à granulometria abaixo de 125 μ m, visando uma concentração posterior com melhor recuperação metálica.

4.3 Picnometria

Através dos ensaios de picnometria a gás foram obtidos os seguintes resultados:

Tabela 3. Dados das propriedades físicas obtidas através da picnometria a gás

Amostra	Peso Seco (g)	Volume dos Grãos (cm ³)	Densidade (g/cm ³)	Volume dos Poros (cm ³)	Porosidade (%)
Concentrado	248,97	56,51	4,41	34,6	37,98
Rejeito	154,55	49,43	3,13	41,68	45,75

Como era previsto, devido ao mais alto teor de ferro, a densidade da amostra de concentrado estimada (4,41g/cm³) foi superior à densidade calculada para a amostra do rejeito (3,13 g/cm³).

Sabendo que o quartzo possui $d = 2,65 \text{ g/cm}^3$ (DANA, 1974), e que este é o mineral que compõe majoritariamente a amostra de rejeito, a densidade estimada para o rejeito está dentro do esperado. Porém, também neste caso, é necessário o conhecimento dos teores dos minerais que constituem o material para uma conclusão embasada e precisa.

Com relação aos dados de volume de poros e porosidade, constata-se que o rejeito possui volume de poros e porosidade superior ao do concentrado. Pretende-se ainda estudar nesse trabalho, a influência das concentrações dos componentes minerais nos resultados de volume de poros e porosidade.

5. Sugestões para trabalhos futuros

Para enriquecimento e melhoramento dos resultados, é necessário que seja avaliado, por meio da análise por Difractometria de Raios-X e Fluorescência de Raios-X, as concentrações dos minerais que compõem as amostras.

Com intuito de definir qual o método que possibilite o maior grau de enriquecimento de teor no rejeito do minério de ferro, sugere-se que sejam realizados ensaios com diferentes métodos e

equipamentos de concentração mineral, tais como: gravítico (mesa concentradora, jigue, espirais, etc.), magnético e flotação. Dessa forma, torna-se possível definir quais os métodos poderão ser usados numa usina de beneficiamento para recuperação do ferro contido no rejeito.

6. Conclusões

O aproveitamento das reservas de minério de ferro com baixo teor e do rejeito gerado nas etapas de beneficiamento mineral é fundamental para desenvolvimento racional e sustentável do setor mineral no Brasil. Nesse ínterim, visando encontrar rotas para tratamento adequado do material, torna-se necessário o conhecimento, dentro outros parâmetros, do grau de liberação e propriedades físicas.

Foi identificado que a boa parte do material, tanto o concentrado como o rejeito, possuem granulometria grosseira. Sabendo o melhor resultado de grau de liberação foi em faixa fina-70,91% no tamanho abaixo de 125 μ m são necessárias etapas de cominuição (britagem e moagem) e classificação para gerar o máximo de material abaixo de 125 μ m e, dessa forma, liberar fisicamente as partículas de ferro, de forma que seja encaminhado um material ideal para promover, de forma eficiente, a concentração subsequente.

Com relação aos resultados dos ensaios picnométricos, concluímos que as características físicas podem ser obtidas de forma rápida e prática por esse método. Foi calculada uma densidade de aproximadamente 4,4 g/cm³ para a amostra do concentrado e 3 g/cm³ para o rejeito, e os valores de porosidade e volume de poros mostram que a amostra de rejeitos tem porosidade superior à do concentrado.

7. Referencias

COUTO, H. J. B.; BRAGA, P. F. A & FRANÇA, S. C. A. **Use of gas pycnometry for estimating the iron content in mineral samples**. Minerals Engineering, 39, pp. 45-47, 2012.

Dana, J. D. **Manual de Mineralogia**. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1974.

LUZ, A. B. & LINS, F. A. F. **Rochas & Minerais Industriais: usos e especificações**. 2. Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008.

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A. & FRANÇA, S. C. A. **Tratamento de Minérios**. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE CAULIM PARA A FORMULAÇÃO DE ARGAMASSAS COLANTES

Cirila Raquel de Araújo Gomes¹, Vitor Leão Santana², Elbert Valdiviezo Viera³

¹ Graduanda, Curso de Graduação em Engenharia de Minas, Universidade Federal de Campina Grande.
E-mail: quel_gomes_@hotmail.com

² Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Exploração Petrolífera e Mineral - PPGPEM/UAMG/CTRN/UFCG - Av. Aprígio Veloso, 882, Bloco BY, Cidade Universitária, 58109-970 Campina Grande - PB (Brasil) vitorlsantana@gmail.com

³ Professor, Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, Universidade Federal de Campina Grande
E-mail: elbertvaldiviezo@hotmail.com

RESUMO

A extração e beneficiamento de caulim no Estado da Paraíba causa a geração de enorme quantidade de resíduos. Este trabalho tem por objetivo estudar a utilização do resíduo do beneficiamento do caulim para uso como agregado mineral na formulação de argamassas para a construção civil. Neste trabalho foram formuladas argamassas no qual foi substituída parcialmente a areia de quartzo por resíduo de caulim. Em seguida, foram confeccionados corpos-de-prova, e após o período de cura foi determinada a resistência de aderência à tração (arranque) e ao deslizamento. Os agregados minerais: areia de quartzo e resíduo de caulim foram peneirados visando separar a fração granulométrica passante em 48 malhas (-0,3 mm). A caracterização do resíduo de caulim foi realizada através de ensaios de análise granulométrica, ensaio de difração de raios-x, ensaio de fluorescência de raios-x para se determinar a composição química, mineralógica, e algumas outras propriedades do resíduo. Os materiais utilizados foram o rejeito de caulim, areia de quartzo, cimento Portland CPM Z-32, éter de celulose, acetato de polivinila (PVA), azulejos, placas de concreto (substratos), e água potável. A formulação da argamassa I apresentou resultado inferior a 0,5 MPa, no ensaio de arranque, não se enquadrando às especificações da ABNT NBR 14081. Nessa formulação foram usados 40 % de areia de quartzo, 40 % de resíduo de caulim, e 20 % de cimento, e foram adicionados aditivos: éter de celulose e PVA. As formulações da argamassa II, III e IV, apresentaram resultados satisfatórios no teste de resistência ao arranque por tração obtendo resultado superior a 0,5 MPa. Nessas formulações, a quantidade de resíduo de caulim foi diminuída em relação à quantidade de areia de quartzo. O ensaio de deslizamento

realizado para todas as formulações preparadas mostrou resultados satisfatórios. Os resultados permitiram constatar que o resíduo de caulim pode substituir parcialmente a areia de quartzo, em uma proporção de até 30 %, em relação à porcentagem total desse componente na formulação da argamassa.

PALAVRAS-CHAVE: caulim, argamassa, caracterização.

ABSTRACT

Kaolin extraction and processing in the State of Paraíba cause the generation of large amounts of waste. This work aims to study the use of kaolin processing waste for use as mineral aggregate in the formulation of mortars for the construction industry. In this work were made mortar in which it was partially replaced quartz sand by kaolin residue. Bodies of the test piece were made, and after the healing period was determined to tensile bond strength and sliding test. Mineral aggregates: sand and kaolin residue were screened in order to separate the through-size fraction of 48 mesh (-0,3 mm). Characterization of kaolin residue was performed by sieve analysis test, the test diffraction X-rays, fluorescent X-ray test to determine chemical composition, mineralogical, and some other properties of the residue. The materials used were the tailings kaolin, which is fine tailings called "Siri" coming from the processing plants of Junco do Seridó/PB, quartz sand, Portland cement CII Z-32, cellulose ether, polyvinyl acetate (PVA), ceramic plates, concrete plates (substrates), and drinking water. Mortar formulation I gave a result less than 0.5 MPa, not corresponding to the specification of ABNT NBR 14081. In this formulation were used 40 % quartz sand, 40% of kaolin waste and 20% cement, and additives were added: PVA and cellulose ether. The mortar formulations II, III and IV, presented satisfactory results in the start-up test of endurance by getting traction result greater than 0.5 MPa. In these formulations, the amount of kaolin waste was decreased relative to the amount of quartz sand. The sliding test conducted for all prepared compositions showed satisfactory results. The results demonstrated that the kaolin waste may partly replace the quartz sand in a ratio should be less than 30 %, relative to the total percentage of the mortar.

KEYWORDS: kaolin, mortar, characterization.

1. INTRODUÇÃO

Apesar da grande importância tecnológica do caulim, sua extração e beneficiamento produzem enorme quantidade de resíduos, em virtude do seu processamento ter um aproveitamento de, aproximadamente, 30 % do total extraído (Tulyaganov, 2002; Nobrega, 2007; Moraes, 2013).

A maioria do rejeito gerado é, em geral, descartada em campo aberto e em várzeas de riachos e rios, o que causa agressão à fauna, flora e à saúde da população (Leite, 2007). Essa postura, por parte das empresas produtoras de caulim vêm sendo alvo de severas fiscalizações dos órgãos de proteção ambiental, fazendo com que o resíduo gerado se torne fonte de custos para as empresas e, por vezes, um limitante no aumento de suas produções (Leite, 2007). No Nordeste do Brasil, as principais indústrias mineradoras de caulim estão localizadas nos municípios de Equador (RN) e Junco do Seridó (PB) (Cabral, 2009).

A utilização dos resíduos da extração e do beneficiamento mineral em produtos para construção civil tem-se mostrado uma ótima alternativa para diversificar a oferta de matérias-primas e para a economia de recursos naturais, onde a reutilização é uma das principais alternativas para o desenvolvimento sustentável (Barbosa, 2006). Essas ações visam reduzir os impactos ambientais e também atuam para que um maior valor seja agregado ao material, gerando além de uma melhora na qualidade de vida dos moradores da região, emprego e desenvolvimento para a comunidade local (Nobrega, 2007).

A argamassa colante (AC) é constituída por cimento Portland, que é responsável pela resistência mecânica; por agregados minerais que são responsáveis pela melhora nas propriedades de elasticidade e na viscosidade plástica; por bactericidas cuja função é diminuir a contaminação microbiana do material, quando armazenado, enquanto é utilizado; por éter de celulose que é utilizado como agente retentor de água; e o polímero de acetato de vinila - PVA que melhora as propriedades de flexibilidade, adesão, resistência à tração/compressão e deformação (Cabral, 2009).

O presente trabalho tem como objetivo formular uma argamassa, que agregue valor aos resíduos de caulim da região do Seridó paraibano. Essa argamassa deverá possuir propriedades adequadas para utilização na construção civil.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os agregados minerais usados foram: areia de quartzo na granulometria $-0,30$ mm, e rejeito de caulim com granulometria $-0,30$ mm. O rejeito de caulim foi coletado em uma usina de beneficiamento do Junco do Seridó, correspondendo à fração fina, denominada de “Siri” (Figura 1). O cimento Portland utilizado foi do tipo CII Z-32. Os aditivos foram éter de celulose e polímero de acetato de vinila – PVA. Foram usados também azulejos e placas de concreto (substrato) e água potável.



Figura 1 – Fotografia mostrando o rejeito fino, denominado “Siri” proveniente do processo de beneficiamento do caulim, município do Junco do Seridó.

2.2 Métodos

O resíduo de caulim foi desagregado manualmente e secado na estufa, com a finalidade de preparar o material para a etapa posterior de peneiramento. A areia de quartzo foi submetida ao processo de moagem, sendo utilizado o moinho de bolas, com capacidade para 8,0 kg de material. O percentual de enchimento do moinho foi de 60 %, sendo 30 % de material e 30 % de bolas.

A etapa de peneiramento foi dividida em duas partes, uma para realização de ensaios de caracterização e outra para obtenção de uma fração passante em 48 malhas ($-0,30$ mm) para utilização na preparação das argamassas.

2.3 Formulação da argamassa

No laboratório foram preparados quatro tipos diferentes de composições de argamassa AC-I, sendo que cada composição apresentou determinada proporção de material, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Componentes da argamassa preparada de acordo com a formulação.

Formulação	Agregado mineral (g)		Cimento Portland (g)	Aditivo I Éter de celulose (g)	Aditivo II PVA (g)
	Areia de quartzo (g)	Resíduo de caulim (g)			
I	400,0	400,0	200,0	0,18	0,5
II	560,0	240,0	200,0	0,18	0,5
III	480,0	320,0	200,0	0,18	0,5
IV	720,0	80,0	200,0	0,18	0,5

Cada um dos tipos de argamassa preparados contém uma quantidade de 1,0 Kg, seguindo as proporções mostradas na Tabela 1. Na realização dos ensaios, os componentes foram colocados em uma bandeja e homogeneizados, por cerca de 15 min. A Figura 2 mostra os componentes da argamassa tais como: agregados minerais, cimento e aditivos, antes de se proceder à sua homogeneização.



Figura 2 - Componentes utilizados para composição da argamassa. Na sequência: areia, resíduo de caulim, cimento Portland e aditivos: éter de celulose e PVA.

2.4 Ensaio de assentamento

Para o assentamento da placa cerâmica foi utilizada 400 mL de água potável, para cada quilo de argamassa preparada. A mistura umedecida passou 15 min em repouso, em seguida foi espalhada sobre uma placa ou substrato de concreto de dimensões 30 cm por 30 cm, e logo procedeu-se ao assentamento da placa cerâmica. O assentamento da cerâmica foi realizado tanto

em substrato de concreto quanto em superfície vertical. Esse último foi realizado, com o intuito de determinar o deslizamento da cerâmica, logo após o seu assentamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no trabalho serão discutidos através dos ensaios de deslizamento e de resistência ao arranque. Esses ensaios são relevantes na formulação de argamassas comerciais visto que viabilizam a sua comparação com as especificações técnicas recomendadas pela ABNT.

3.1 Ensaio de deslizamento

O ensaio de deslizamento foi realizado 24 h após o assentamento da cerâmica. As placas cerâmicas foram assentadas na posição vertical, colocando pontos de marcação (Figura 3) para permitir a leitura e certificar, se houve o deslizamento, conforme especificação referenciada na norma ABNT-NBR 14081-5.

As composições de argamassa ensaiadas neste trabalho (Tabela 1) apresentaram resultados satisfatórios no ensaio de deslizamento onde, de acordo com ABNT-NBR-14081-5/2012 o deslizamento deve ser igual ou inferior a 2,0 mm. Constatou-se através de medições realizadas com paquímetro que o deslizamento da cerâmica foi, em todos os casos, inferior a 2,0 mm.

3.2 Resistência ao arranque

O ensaio de resistência ao arranque foi realizado no 28º dia após o assentamento da placa cerâmica. Nesse tempo de cura, as amostras foram mantidas sob as condições ambientais, recomendadas pela ABNT- NBR 14081-4, com temperatura ambiente e umidade relativa do ar, controladas. O ensaio foi realizado em ambiente fechado.

No ensaio de resistência ao arranque, por tração simples, foi aplicada uma força que ia aumentando gradualmente até o máximo de $250 \pm 50 \text{ N.s}^{-1}$, onde ocorria o total descolamento da placa cerâmica (ABNT- NBR 14081-4, 2012). Para esse ensaio foi utilizado o equipamento mostrado na Figura 4.



Figura 3 – Detalhe do ensaio de deslizamento no qual se mede o deslocamento da cerâmica após 24 h.



Figura 4 – Equipamento usado para o ensaio de resistência ao arranque por tração simples.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados obtidos no ensaio de resistência ao arranque. Na formulação I com uma pequena força aplicada (0,075 MPa) há descolamento da cerâmica. A norma da ABNT recomenda que no ensaio de arranque o descolamento da cerâmica pode ocorrer com aplicação da força de $> 0,5$ MPa. Conforme mostrado na Tabela 3, as formulações II e III, o descolamento da cerâmica ocorreu em 0,608 e 0,860 MPa, respectivamente. Enquanto que na formulação IV, com uma força aplicada de 0,922 MPa, não houve descolamento da cerâmica.

Tabela 1 - Resultados do Ensaio de resistência ao arranque por tração referente a cada traço.

Formulação	Força aplicada (MPa)	Descolamento da placa
I	0,075	Descolamento total da placa.
II	0,608	Descolamento da placa.
III	0,860	Descolamento da placa.
IV	0,922	Não houve descolamento.

A formulação da argamassa I apresentou resultado inferior $< 0,5$ MPa (Tabela 3), não se adequando às especificações da ABNT NBR 14081. Esse comportamento estaria relacionado à maior quantidade de resíduo de caulim adicionado em substituição ao cimento Portland. E a formulação teve quantidades iguais para a areia do quartzo e o resíduo de caulim, 50 % de cada.

As composições de argamassa II, III e IV, apresentaram resultados satisfatórios no teste de resistência ao arranque por tração, obtendo resultado superior $> 0,5$ MPa. Esse comportamento estaria diretamente relacionado à maior proporção de areia de quartzo e à menor proporção de resíduo de caulim nas composições da formulação. As formulações de argamassa II, III e IV teriam a qualidade necessária para serem potencialmente comercializadas.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que:

O resíduo do caulim, fração mais fina, gerada no beneficiamento (“Siri”) apresentou condições favoráveis para uso como agregado mineral na formulação de argamassas, desde que o mesmo seja dosado em uma proporção adequada junto com areia de quartzo.

O resíduo de caulim apresentou um teor de SiO_2 de 54,83 % e baixo teor de Fe_2O_3 (1,46 %). A granulometria requerida para argamassa que é de -48 malhas (-0,30 mm) pode também ser obtida a partir desse resíduo.

Em termos de teor de SiO_2 , o resíduo de caulim apresentou valor inferior, quando comparado com o teor de SiO_2 para a areia de quartzo. No entanto, os ensaios de deslizamento e arranque foram satisfatórios para as formulações II, III e IV. Assim, a substituição parcial da areia de quartzo pelo resíduo não deve ser maior que 30 %, para não alterar significativamente a qualidade da argamassa colante.

A argamassa colante de formulação II, III e IV, obtiveram resultados satisfatórios, de acordo com as exigências de qualidade recomendadas pela ABNT, requeridas para produto comercializáveis.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação – MCTI pelo apoio financeiro concedido através do Programa de Entidades Associadas CETEM/UFCG. À professora Cláudia Maria de O. Raposo pelo apoio na caracterização de amostras. Ao Dr. Francisco W. Hollanda Vidal pelo apoio técnico. Ao Eng. João Bosco da Costa pelo auxílio oferecido para a realização de ensaios de resistência.

6. REFERÊNCIAS

BARBOSA, M. P. O. N. Potencialidades de um caulim calcinado como material de substituição parcial do cimento Portland em argamassas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental; DEAg/UFCG, Campina Grande, PB, 2006.

CABRAL, E. S.; LEITE FILHO, E. M. R.; BRAZ DE ARAÚJO. FARIAS, M. S. S. Impactos ambientais: Uma abordagem das atividades de beneficiamento de caulim na região Borborema/Seridó na Paraíba. 2009.

LEITE, J. Y. P.; VERAS; M. M.; SANTOS, E.P.; LIMA, R.F.S.; PAULO, J.B.A.; Mineração de caulim de pequena escala em APL de Base Mineral – Novo layout para sua otimização. In: XXII ENTMMME/VII MSHMT – Ouro Preto, MG, 2007.

MORAES, J. M. Caracterização tecnológica e mineralógica de caulins brasileiros. XIV Jornada de Iniciação Científica – CETEM. UERJ, 2013.

NBR 14081-4: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4: Determinação da resistência de aderência a tração. Rio de Janeiro, RJ, 2012.

NOBREGA, A. F. Potencial de aproveitamento de resíduos de caulim paraibano para o desenvolvimento de argamassas de múltiplo uso. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, PB, 2007.

TULYAGANOV, D. U. *et alii*. Mullite-alumina refractory ceramics obtained from mixtures of natural common materials and recycled al-rich anodizing sludge. ***Journal of Materials Synthesis and Processing***, v. 10, n. 6, p. 311-318, 2002.

USO DE RESÍDUO DO CORTE DE MÁRMORES EM SUBSTITUIÇÃO AO FUNDENTE NA PRODUÇÃO DE PELotas DE MINÉRIO DE FERRO

Ivan Galdino da Silva¹, João B. Conti de Souza²

¹ *Tecnólogo em Rochas Ornamentais e Mestre em Engenharia Metalúrgica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais – PROPEMM, Vitória - ES.*

² *Pesquisador Especialista em Aglomeração e Tratamento de Minérios e Insumos e Professor nos cursos de graduação e pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais do Instituto Federal do Espírito Santo, Ifes, Vitória - ES.*

ivangaldino@ig.com.br / jbcontitecnologia@gmail.com

RESUMO

O Estado do Espírito Santo tem uma das maiores reservas de mármore no Brasil e um parque industrial com cerca de 1.000 empresas, que têm mais da metade dos teares instalados no país. O maior problema enfrentado por essas indústrias transformadoras é a geração de resíduos de rochas, sob a forma de lama abrasiva do corte e polimento de mármore. Estes resíduos produzidos durante a etapa de corte do mármore são destinados para tanques abertos, causando poluição ambiental. Uma quantidade de 35000 toneladas de resíduos sólidos, com um tamanho de grão inferior a 150 μm é gerado por mês. Tais resíduos têm teores elevados de fundente a base de calcário, e têm potencial para utilização como aditivo para a produção de pelotas de minério de ferro que são usadas como carga elaborada conteúdo ferro nos processos de fabricação do ferro gusa e produção de aço. Para a produção convencional de pelotas de minérios de ferro, calcários, cuja composição é de CaCO_3 e MgCO_3 é usado como uma importante fonte de MgO e CaO para a produção de ferro primário na indústria do aço.

Nestas pelotas de estudo que contêm resíduo de mármore foram produzidas em uma planta piloto. As amostras foram analisadas em laboratórios de materiais industriais e, posteriormente, submetidos a testes de propriedades físicas, composição química e propriedades metalúrgicas de acordo com a Norma ISO (International Organization for Standardization). No final deste trabalho, verificou-se que o resíduo é adequado para o processo de pelotização. Conclui-se que as pelotas cruas e as queimadas produzidas a partir de resíduos de mármore possuem características muito semelhantes as pelotas produzidas comercialmente.

Palavras-chave: Resíduos de mármore, minério de ferro de pellets, preservação ambiental.

ABSTRACT

The State of Espírito Santo has one of the largest reserves of marble in Brazil and an industrial park with about 1,000 companies, which have more than half of looms installed in the country. The biggest problem faced by these manufacturing industries is the generation of waste rock, in the form of abrasive slurry from the cutting and polishing of marble. These wastes produced during the step of cutting the marble are dumped in open tanks causing environmental pollution. A quantity of 35000 tons of solid waste with a grain size of less than 150 μm is generated per month. Such residues have high contents of limestone flux, and have potential for use as input in the production of iron ore pellets which are used as a ferrous cargo in the ironmaking and steelmaking processes. For the conventional production of iron ores pellets, limestone flux, whose composition is of CaCO_3 and MgCO_3 is used as an important source of MgO and CaO for the production of primary iron in the steel industries. In these study pellets containing residue marble were produced in a pilot plant. The samples were analyzed in industrial materials laboratories and subsequently subjected to tests of physical properties producing data of the chemical, physical and metallurgical properties according to the Norm ISO (International Organization for Standardization). At the end of this work, it was found that the residue is suitable for the pelletizing process. We conclude that the crude/green and the fired pellets made from marble waste have characteristics very similar to those of the commercial pellets.

Key words: Marble Waste, Iron Ore Pellet, Environmental Preservation.

1. INTRODUÇÃO

Como justificativa/motivação para o desenvolvimento do projeto de estudo, os resíduos provenientes do corte do mármore possuem em sua composição calcário (CaCO_3) e CaO , que são aditivos importantíssimos no processo de produção de cargas elaboradas, no caso pelotas de minérios de ferro. Na produção de pelotas de interesse siderúrgico, o calcário é extraído da natureza e a cal é obtida através da calcinação do calcário, produzindo cal virgem e posteriormente hidratação. A granulometria é da ordem de $150\mu\text{m}$ o que torna possível sua aplicação na pelotização, sem a necessidade de passar por uma etapa de moagem. O Espírito Santo se destaca por possuir uma das maiores reservas de mármore do País, gerando cerca de 35.000 toneladas do resíduo de serragem de mármore gerados a cada mês (fonte ABI rochas), dispondo de um parque industrial com cerca de 1.000 empresas, responsáveis por mais da metade (57%) dos teares instalados no País. O Estado do Espírito Santo é o maior polo de empresas de mineração com foco na produção de cargas elaboradas

pelo processo de pelletização do Brasil e do mundo. As companhias Vale S.A, em Vitória, e Samarco S.A, em Anchieta, juntas, são responsáveis pela produção e comercialização de 68,0 milhões de toneladas de pelotas de minério de ferro por ano. Esse volume atende aos produtores, nacionais e internacionais, de ferros primários pelas vias de redução direta e alto-forno.

A fim de identificar a qualidade das pelotas produzidas a partir de resíduos de rochas ornamentais, foram realizados testes de resiliência, resistência à compressão da pelota crua, seca e caracterização das pelotas queimadas através dos ensaios de abrasão, resistência à compressão e redutibilidade. Os equipamentos utilizados para a fabricação das pelotas foram um misturador, um pelletizador e um forno. O ensaio de resistência à compressão das pelotas queimadas foi realizado através de um prensa hidráulica conforme a norma ISO 4700.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Análise química das matérias-primas

A lama de resíduo de mármore foi adquirida na empresa Mineração Santa Clara, localizada no município de Cachoeiro de Itapemirim - ES. A lama recolhida foi secada, homogeneizada e enviada ao laboratório Stollberg do Brasil a fim de analisar a composição química do resíduo de mármore. O minério de ferro utilizado para a preparação da mistura foi fornecido pela Samarco, juntamente com a análise da composição química do material. As composições químicas do resíduo e do minério são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química do resíduo de mármore e do minério de ferro.

Material	Análise Química (%)										
	FeT	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O	CO ₂
Resíduo de Mármore	-	2,84	37,04	18,81	0,29	0,01	0,32	0,07	0,09	0,03	43,48
Minério de Ferro	66,6	2,03	0,09	0,01	0,37	-	0,67	0,04	-	-	-

2.2 Balanço de Massa

O balanço de massa foi estabelecido com o intuito de substituir totalmente o calcário, utilizado como aditivo na fabricação das pelotas, pelo resíduo de mármore. Os minérios utilizados nos ensaios foram separados em 3 partes de 5,2 kg cada. A proporção de carvão e

carboximetilcelulose (CMC) foram fixadas em 1,27% e 0,05%, respectivamente. A Tabela 2 apresenta as proporções de resíduos de mármore utilizadas em cada amostra.

Tabela 2. Identificação das amostras e proporções de resíduos utilizados.

Amostra	Adições	Proporção de Adição (em peso)
A1		0,7%
A2	Resíduo de Mármore	1,9%
A3		2,1%

2.3 Preparação das misturas e produção das pelotas

As misturas foram preparadas levando-se em consideração o balanço de massa abordado na seção anterior. Entretanto, devido a pequena quantidade de resíduo de mármore, carvão e CMC, estes materiais foram homogeneizados separadamente e previamente a adição ao minério de ferro. A mistura total foi homogeneizada, quarteada compondo as misturas a serem pelletizadas. As mesmas foram inseridas no disco pelletizador através de uma calha móvel de alimentação.

A Figura 1 mostra o disco pelletizador utilizado na produção das pelotas cruas.



Figura 1. Disco pelletizador do laboratório de aglomeração do Instituto Federal do E.S - Ifes

2.4 Testes físicos e metalúrgicos

As pelotas cruas e secas foram submetidas aos ensaios de resistência à compressão e as pelotas cruas também foram encaminhadas para os ensaios de resiliência, obedecendo aos procedimentos técnicos utilizados pelas empresas produtoras de pelotas de minérios de ferro.

As resistências à compressão das pelotas cruas e secas foram realizadas através de uma prensa manual. Nos teste de resiliência, as pelotas cruas úmidas foram submetidas a quedas livre, individualmente, de uma altura de 45 cm (altura média entre os pontos de transferência na usina) várias vezes, até que a mesma apresente alguma trinca. O número de quedas que a pelota suporta sem apresentar trincas é o valor da resiliência. Após ensaiar as 10 pelotas, reportamos valor médio obtido como resultado.

Para a produção das pelotas queimadas, as pelotas cruas foram aquecidas até a temperatura de 1300 °C a uma taxa de 10 °C/min. As pelotas foram mantidas nesta temperatura por 8 minutos e, em seguida, resfriadas lentamente dentro do próprio forno, até a temperatura ambiente.

As pelotas queimadas foram encaminhadas para os ensaios físicos de resistência ao abraço, resistência à compressão e ensaios metalúrgicos de redutibilidade, obedecendo às respectivas normas da ISO.

As análises químicas das pelotas queimadas foram realizadas via raio-X no laboratório da empresa Vale SA. As composições químicas das pelotas queimadas são mostradas na Tabela 3.

Tabela 3. Análise química das pelotas queimadas produzidas e da referência - Comercial.

Identificação	Análise Química (%)								
	FeT	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	P	Mn	Basicidade
A1	69,82	2,40	0,41	0,15	0,46	0,04	0,04	0,05	0,17
A2	69,26	2,47	0,94	0,32	0,48	0,04	0,04	0,05	0,38
A3	69,12	2,37	0,84	0,32	0,44	0,04	0,04	0,05	0,35
Comercial	67,26	2,00	0,90	0,10	0,60	0,05	0,05	0,05	0,46

A composição química da amostra comercial foi utilizada como referência no presente trabalho.

Cabe ressaltar que o FeTotal mostrado na tabela acima está na forma de Fe₂O₃ na pelota.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 ilustra o número médio de quedas que as pelotas secas sofreram sem que houvesse a ruptura ou trinca das mesmas.

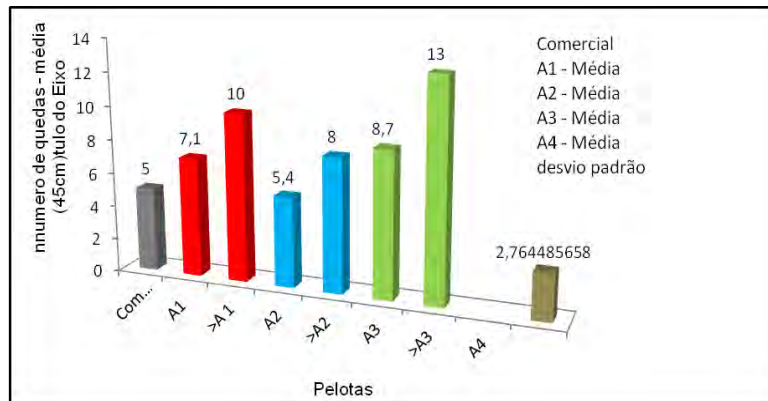


Figura 2. Resiliência das pelotas cruas e da comercial.

Observa-se que as pelotas produzidas no projeto de pesquisa apresentaram uma resiliência maior do que aquelas produzidas comercialmente, cujo resultado é tido como referência. Portanto, a partir do teste de resiliência, pode-se inferir que as pelotas produzidas a partir dos resíduos de mármore terão melhor performance ao serem submetidas as quedas ao sair dos discos pelletizadores, nas transferências nas correias transportadoras, durante seu trajeto até atingir o forno de queima das pelotas.

A Figura 3 ilustra os valores médios das resistências à compressão obtida para as pelotas cruas, secas e queimadas.

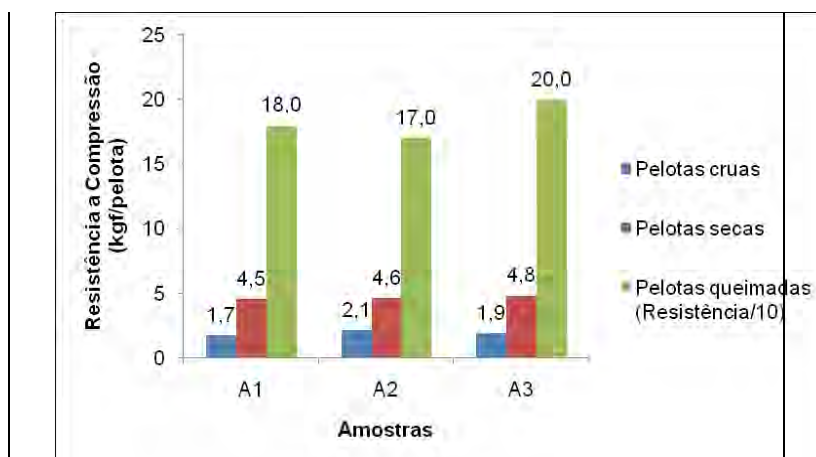


Figura 3. Resistência à compressão das pelotas cruas, secas e queimadas.

Observa-se na figura 3 que os valores obtidos, para as 3 diferentes dosagens de resíduos de mármore na produção de pelotas, apresentaram resultados das propriedades físicas das pelotas cruas, secas (aquecidas a 105 ± 5 °C por 2 horas) e queimadas a 1300 °C em laboratório obtendo valores que variaram de 170 a 200 kg/pelota queimada, considerados aceitáveis, quando comparados com os obtidos nas pelotas utilizadas como referências, que apresentaram resistência à compressão de 270 kg/pelota em média.

Em contrapartida a diminuição da resistência à compressão, as pelotas produzidas a partir do resíduo de mármore apresentam uma maior produtividade, uma vez que as mesmas possuem maior concentração de Fe_2O_3 .

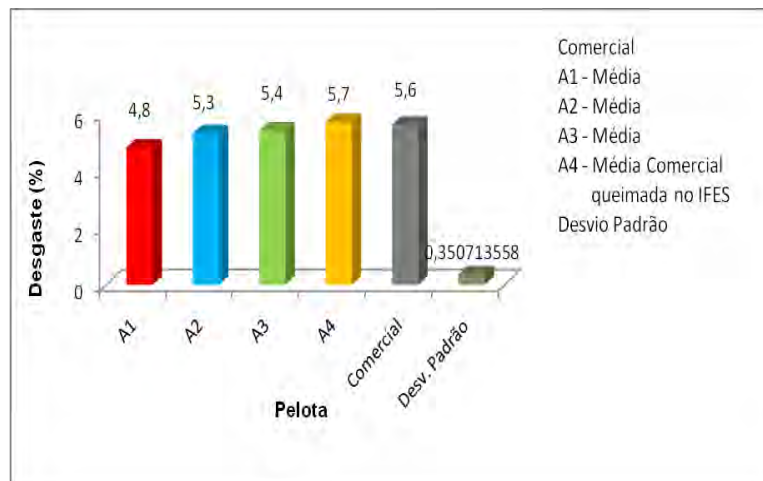


Figura 4. Média de resistência ao desgaste por abrasão

As pelotas produzidas com resíduo de mármore apresentaram um desgaste menor quando comparado com as pelotas produzidas comercialmente. Esse fato pode estar relacionado ao grau de finura do resíduo de mármore e da utilização de aglomerante sintético.

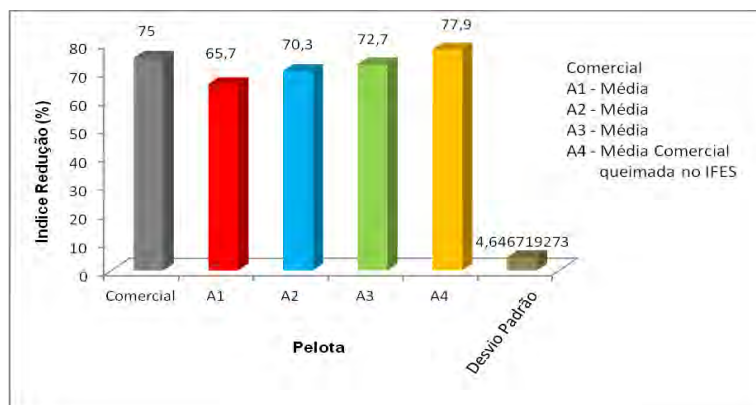


Figura 6 - Gráfico de redutibilidade das pelotas queimadas.

As pelotas produzidas com resíduos de mármore apresentaram resultados promissores em termos de redutibilidade, quando comparadas com as pelotas consideradas referências.

4. CONCLUSÃO

Com base nos dados obtidos no projeto de estudo pode-se concluir que:

As pelotas produzidas com resíduo de mármore apresentaram maior resiliência do que as pelotas produzidas comercialmente;

A resistência à compressão das pelotas queimadas produzidas com resíduo de mármore foi menor do que aquelas produzidas comercialmente, porém atende os limites de especificações para o produto;

As pelotas produzidas com resíduos de mármore apresentaram maior produtividade, uma vez que a concentração de Fe_2O_3 foi maior do que naquelas consideradas referência;

As pelotas produzidas com o resíduo de mármore e aglomerante sintético apresentaram um menor valor de desgaste por abrasão;

Em termo de redutibilidade podemos considerar que os valores foram bem próximos e que estudo deve ser direcionado para avaliar, em simulação, a produtividade nos altos-fornos.

Diante do estudo podemos considerar que o uso de resíduos de mármore, com substituto dos fundentes no processo de produção de pelotas, como produto inovador, poderá ser uma boa solução para o aproveitamento dos resíduos e a redução dos passivos ambientais gerados pelas indústrias de rochas ornamentais no estado do Espírito Santo e ainda garantindo a geração de produtos com qualidade e atendimento às especificações comerciais e às necessidades dos clientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MANHÃES, J. P. V. T.; DE HOLANDA, J. N. F. **Caracterização e Classificação de Resíduo Sólido “Pó de Rocha Granítica” Gerado na Indústria de Rochas Ornamentais**. Quim. Nova, V. 31, N. 6, p.1301-1304, 2008.

ABNT. **NBR 10.004 resíduos sólidos: Classificação**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Brasil, 2004.9

REIS, W. L.C. **Reciclagem da lama fina de aciaria em pelotas metalizadas**. XXXVIII Seminário de Aciaria – Internacional, 20 a 23 de maio de 2007, Belo Horizonte, MG, Brasil

MEYER, K. - ***Pelletizing of Iron Ores*** - Springer - Verlag Berlin, Heidelberg, and VerlagStahleisenmbH, Düsseldorf, Germany, 21-205, 1984.

RESULTADOS PRELIMINARES DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE NA MINERAÇÃO DE CAULINS DOS ESTADOS DA PARAÍBA E RIO GRANDE DO NORTE

Vitor Leão Santana¹, Elbert Valdiviezo Viera²,

¹ Programa de Pós-Graduação em Exploração Petrolífera e Mineral - PPGPEM/
UAMG/CTRN/UFCG - Av. Aprígio Veloso, 882, Bloco BY, Cidade Universitária, 58109-970
Campina Grande - PB (Brasil) vitorlsantana@gmail.com

² Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, Universidade Federal de Campina Grande. Av.
Aprígio Veloso 882, Bloco BY, Cidade Universitária, 58109-970 – Campina Grande – PB (Brasil)
elbertvaldiviezo@hotmail.com
elbertvaldiviezo@hotmail.com

RESUMO

O presente trabalho objetiva a avaliação e quantificação de alguns parâmetros de sustentabilidade de empresas de caulim na região do Junco do Seridó/PB e Equador/RN. Assim foi possível verificar o nível de desenvolvimento sustentável da atividade de extração mineral. Com isso, foram identificados aspectos ambientais relevantes e analisado o cenário atual nas questões relacionadas aos impactos socioeconômicos e ambientais das mineradoras de caulim dessa região. Foi elaborado um questionário e aplicado nas empresas mineradoras no intuito de identificar os programas e projetos aplicados nas dimensões econômica, social e ambiental. As perguntas foram objetivas, com resposta positiva ou negativa, relacionado ao programa/projeto, à aplicação dele e sobre a eficiência do mesmo. Foram selecionados 15 parâmetros para avaliação, onde Índice de Sustentabilidade (IS) foi calculado. As empresas 01, 02, e 04 atingiram 18, 19 e 30 pontos, respectivamente, cabendo a elas um índice de sustentabilidade “regular”. Apenas a empresa 03 atingiu 32 pontos correspondendo um índice de sustentabilidade “satisfatório”. As informações fornecidas pelas empresas não foram necessariamente comprovadas, partindo do pressuposto que todas as respostas são verdadeiras. A entrevista foi realizada em todos os casos com representantes da direção ou supervisão da empresa. Para não gerar nenhum desconforto por parte das empresas, os dados fornecidos foram

mantidos em sigilo e discrição, já que não era necessário as identificar para que fosse possível a determinação dos índices de sustentabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: sustentabilidade, mineração, caulim.

ABSTRACT

This study aims to assess and quantify some of kaolin companies sustainability parameters in Junco Seridó region / PB and Ecuador / RN. Thus it was possible to check the level of sustainable development of the mining activity. Thus, we identified relevant environmental issues and analyzed the current situation on the issues related to socio-economic and environmental impacts of kaolin mining in the region. a questionnaire and applied to mining companies in order to identify programs and projects implemented in the economic, social and environmental dimensions has been prepared. The questions were objective, positive or negative response, related to program / project, to his application and on the efficiency of it. We selected 15 parameters for evaluation, where Sustainability Index (SI) was calculated. Companies 01, 02, and 04 reached 18, 19 and 30 points, respectively, leaving them a "regular" sustainability index. Just 03 company reached 32 points representing a sustainability index "satisfactory". The information provided by the companies were not necessarily covered, assuming that all the answers are true. The interview was conducted in all cases with representatives of the direction or supervision of the company. Not generate any discomfort from the companies, the data were kept in secrecy and discretion, since it was not necessary to identify them to make it possible to determine the sustainability indices

KEYWORDS: sustainability , mining, kaolin.

1. INTRODUÇÃO

A mineração contribui de forma decisiva para o bem-estar e a melhoria da qualidade de vida das presentes e futuras gerações, sendo fundamental para o

desenvolvimento de uma sociedade equânime, desde que seja operada com responsabilidade, principalmente social. Essa é, vista por muitos, uma atividade que degrada o meio ambiente. A recuperação total do meio ambiente é impossível e isso torna a mineração um mal necessário, uma vez que a humanidade é totalmente dependente de bens minerais (FARIAS, 2002).

Apesar da mineração, estabelecer uma ocupação temporária da área, esta causa um impacto ambiental importante, associado à movimentação do solo superficial e sob superfície, estradas de acesso, superfícies sem vegetação, rejeitos e pilhas de estocagem. Outro impacto está relacionado à qualidade e a quantidade de água, tanto superficial quanto subterrânea, a qual é afetada se medidas mitigadoras não forem aplicadas (Vale, 2002)

O conceito de desenvolvimento sustentável provém de um relativo e longo processo histórico de reavaliação crítica, existente ter a sociedade civil e seu meio natural. A mineração sustentável deve minimizar e compensar seus impactos ambientais negativos, mantendo certos níveis de proteção ecológica e de padrões ambientais, e garantir o bem-estar socioeconômico no presente, promovendo crescimento e melhor distribuição de renda, melhoria das condições de educação e de saúde, minimização da pobreza, redução da exclusão e aumento de emprego (Sachs, 2001)

O objetivo deste trabalho foi avaliar e quantificar alguns parâmetros de sustentabilidade das empresas de caulim na região do Junco do Seridó/PB e Equador/RN. Dessa forma foi possível verificar o nível de desenvolvimento sustentável da atividade de extração mineral. Assim, foram identificados aspectos ambientais relevantes e analisado o cenário atual nas questões relacionadas aos impactos socioeconômicos e ambientais das mineradoras de caulim dessa região.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Desenvolvimento Sustentável segundo Sachs (1997) refere-se a uma nova concepção dos limites e ao reconhecimento das fragilidades do planeta, ao mesmo tempo em que enfoca o problema socioeconômico e a satisfação das necessidades básicas da população.

Para Dahl (1997) é claramente um conceito carregado de valores, com uma forte relação entre os princípios, a ética, as crenças e os valores que fundamentam uma sociedade ou comunidade e a sua concepção de sustentabilidade.

Segundo Martins e Candido (2010) significa “a possibilidade de se obterem continuamente condições iguais ou superiores de vida em um dado ecossistema vislumbrando o sustentáculo da vida”. Busca atender às necessidades humanas presentes, à manutenção da vida e para que o ambiente possa permanecer no seu sistema cíclico dando continuidade à perpetuação da biodiversidade de forma duradoura.

O conceito de sustentabilidade é macro, e pode ser abordado em diferentes dimensões com o objetivo de que ações possam ser tomadas para que o desenvolvimento se torne sustentável. Essas dimensões são:

- Sustentabilidade Econômica: alocação eficiente de recursos e constantes investimentos públicos e privados
- Sustentabilidade Ecológica: necessidade de ampliar a capacidade de recursos da terra
- Sustentabilidade Social: alcançar uma sociedade justa e a equidade na distribuição de renda e bens, a fim de reduzir as distorções entre os padrões de vida dos ricos e dos pobres.
- Sustentabilidade Espacial: reduzir a concentração excessiva em áreas metropolitanas, frear a destruição de ecossistemas frágeis, explorar regenerativamente e através de pequenos exploradores ou agricultores, utilizar tecnologias limpas e estabelecer reservas naturais para proteger a biodiversidade.
- Sustentabilidade Cultural: processos de desenvolvimento através de soluções endógenas que busquem o codesenvolvimento através de soluções específicas para o local, o ecossistema e a área.

2.1 Sistema de indicador de sustentabilidade

Um sistema de indicador de sustentabilidade reflete, se um dado local possui ou não características ambientais desejáveis. Seu principal objetivo é “Indicar, de forma

simplificada, uma dada realidade, seja em termos objetivos, seja em termos subjetivos, com base em representações numéricas ou simbólicas”. (Villas Bôas, 2009)

2.2 Características de um indicador

Os Indicadores de Desenvolvimento Sustentável para a Indústria Extrativa Mineral (Villas Bôas, 2009) foram desenvolvidos com o intuito de diminuir as massas envolvidas na produção (solo, rocha, água, resíduo), reduzir o consumo de energias usadas no processo, selecionando a melhor fonte, minimizar os impactos ambientais sejam eles sólidos, líquidos, gasosos, panorâmicos e com isso aumentar a satisfação social da população. Com esse objetivo, foi criado o Índice de Sustentabilidade da Mineração – ISM.

2.3 Índice de sustentabilidade da mineração - ISM

Proposto por Viana (2012) o ISM é aplicado em unidades operacionais minerárias, incluindo-se o meio ambiente, as comunidades existentes em seu entorno e o município em que elas se inserem. Esses indicadores expressam não só as ações levadas a efeito pela empresa, mas também o reflexo delas na sustentabilidade ambiental e no bem-estar das comunidades situadas em seu entorno e dos municípios em que se localiza a mineração. Envolve:

- O meio ambiente dentro e fora da empresa;
- O bem-estar dos empregados, fornecedores, clientes;
- As relações com as comunidades situadas nos entornos e o município em que está inserida a empresa.

3. METODOLOGIA

Foi elaborado um questionário destinado às empresas mineradoras com o objetivo de conhecer os programas e projetos nas dimensões Econômica, Social e Ambiental. As perguntas eram objetivas, com resposta positiva ou negativa, relacionado ao programa/projeto, à aplicação dele e sobre a eficiência do mesmo. Elas eram diretamente relacionadas aos parâmetros definidos por Villas Bôas (2009).

Foram selecionados 15 parâmetros da metodologia de Villas Bôas, onde a metodologia para o cálculo do Índice de Sustentabilidade foi alterada. Cada pergunta analisava se a empresa possuía projeto ou plano relacionado a determinado indicador, se este projeto/plano estava sendo aplicado e, se o mesmo era julgado como eficiente. Cada resposta tinha valor fixo de um ponto para resposta positiva, e pontuação nula em caso de resposta negativa. Com isso, foi elaborada uma escala de 0 – 45 pontos, onde:

- 0 a 15 pontos: Índice de Sustentabilidade Baixo
- 16 a 30 pontos: Índice de Sustentabilidade Regular
- 31 a 45 pontos: Índice de Sustentabilidade Satisfatório

Ressalta-se que esse questionário é uma adaptação dos parâmetros desenvolvidos por Villas Bôas, para que desse modo fosse possível se chegar a um índice de sustentabilidade que representasse a situação atual da mineração de caulim da região.

As questões e a organização do questionário para determinação do Índice de Sustentabilidade da Mineração da região são apresentadas na Tabela I.

Foram visitadas quatro empresas, onde foi possível conversar com os proprietários ou responsáveis pela produção nas unidades, bem como responsáveis pela operação. Essas empresas estão localizadas, duas nos municípios de Junco do Seridó – PB e duas em Equador – RN.

As informações fornecidas pelas empresas não foram necessariamente comprovadas, partindo do pressuposto que todas as respostas são verdadeiras. A entrevista foi realizada com representantes com cargo de direção/supervisão da empresa.

QUESTIONÁRIO			ESTÁ SENDO APLICADO? HÁ ALGUMA AÇÃO?		É EFICIENTE?	
	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	NÃO
1. SUA EMPRESA POSSUI ALGUM PROJETO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO?						
2. SUA EMPRESA POSSUI ALGUM PROGRAMA RELACIONADO AO IMPACTO ECONÔMICO DO PASSIVO AMBIENTAL?						
3. SUA EMPRESA POSSUI ALGUM PROJETO DE PARCERIA COM INDÚSTRIAS DE MAQUINAS E SUPRIMENTOS DE FORNECEDORES LOCAIS?						
4. EXISTE ALGUM PROGRAMA/PROJETO ONDE A EMPRESA ESTÁ PREOCUPADA COM A SAÚDE E A SEGURANÇA DE SEUS FUNCIONÁRIOS?						
5. A EMPRESA POSSUI UM CONTROLE E UM PROGRAMA COM O OBJETIVO DE REDUZIR OS NÚMEROS DE ACIDENTES DE TRABALHO?						
6. A EMPRESA POSSUI ALGUM PROGRAMA ONDE HÁ INVESTIMENTO CONTÍNUO NA QUALIFICAÇÃO PROFISSIONAL DE SEUS FUNCIONÁRIOS?						
7. A EMPRESA POSSUI ALGUM PROGRAMA PARA A PARTICIPAÇÃO E CONTRATAÇÃO DE TRABALHADORES LOCAIS?						
8. A EMPRESA POSSUI UM PROJETO DE DESENVOLVIMENTO SOCIAL DO MUNICÍPIO MINERADOR? (EX. CRECHE, ESCOLA, SOPÃO).						
9. A EMPRESA POSSUI ALGUM PLANO DE REAPROVEITO DE ESTÉRIL/REJEITO GERADO NAS ATIVIDADES DE EXTRAÇÃO/BENEFICIAMENTO?						
10. A EMPRESA POSSUI ALGUM PLANO DE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS/LÍQUIDOS GERADOS NAS ATIVIDADES DE EXTRAÇÃO/BENEFICIAMENTO?						
11. A EMPRESA POSSUI UM PROJETO DE DESCOMISSIONAMENTO DA MINA?						
12. A EMPRESA POSSUI UM PROJETO DE REABILITAÇÃO DAS ÁREAS DEGRADADAS PELAS ATIVIDADES DE EXTRAÇÃO/BENEFICIAMENTO?						
13. A EMPRESA POSSUI ALGUMA POLÍTICA DE PROTEÇÃO DA BIODIVERSIDADE INTERNA/EXTERNA?						
14. A EMPRESA POSSUI ALGUM PROGRAMA DE GESTÃO DA EMISSÃO DE RUÍDOS E VIBRAÇÕES?						
15. A EMPRESA POSSUI ALGUM PROJETO COM O OBJETIVO DE MINIMIZAR OS IMPACTOS VISUAIS NA EXTRAÇÃO/BENEFICIAMENTO?						

Tabela 1. Questionário para determinação do Índice de Sustentabilidade da Mineração – Adaptado Villas Bôas 2009

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas questões formuladas e suas respostas, as empresas foram pontuadas, alcançando o seguinte escore:

- **Empresa 01** – 18 pontos representando um índice de sustentabilidade regular.
- **Empresa 02** – 30 pontos representando um índice de sustentabilidade regular.
- **Empresa 03** – 32 pontos representando um índice de sustentabilidade satisfatório.
- **Empresa 04** – 19 pontos representando um índice de sustentabilidade regular.

A Figura 1 representa esses dados através de um histograma de colunas, mostrando o panorama, em termos de sustentabilidade da mineração de caulins da região. Nessa figura, a escala vertical representa o índice de sustentabilidade, que varia de 0 a 45 pontos.

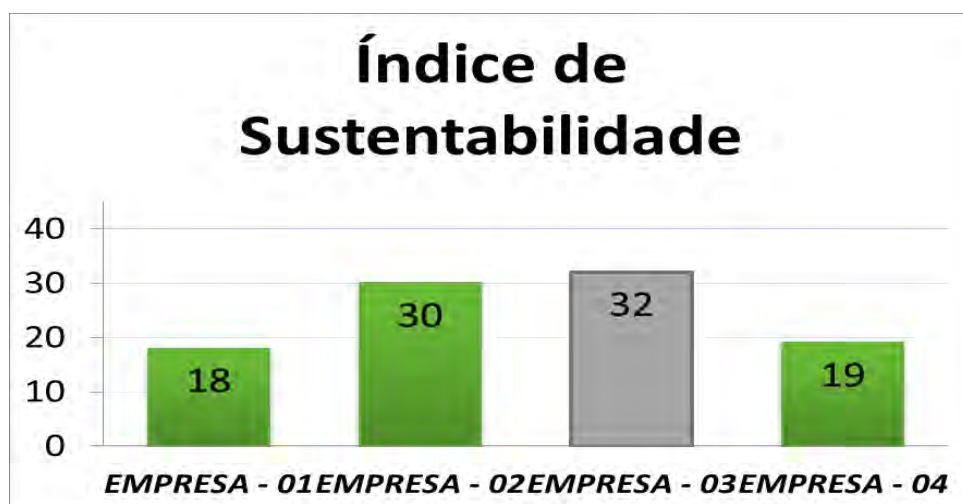


Figura 1: Histograma de colunas representando o Índice de Sustentabilidade.

Conforme pode ser observado na Figura 1, das empresas entrevistadas, 03 alcançaram um índice de sustentabilidade regular (15 a 30 pontos) e uma única empresa atingiu um índice de sustentabilidade satisfatório (escore de 32 pontos).

Ressalta-se que para não gerar nenhum desconforto para as empresas entrevistadas, os dados fornecidos foram mantidos em sigilo e discrição, já que considerou-se, que não era necessário as identificar, para que fosse possível a determinação dos índices de sustentabilidade.

Por fim acrescenta-se que os resultados apresentados neste trabalho, representam apenas tendências, entretanto considera-se que a sustentabilidade na mineração de caulins da região ainda não é satisfatória. No entanto, existe consenso que há possibilidade de melhoria e viabilidade para que em um futuro, a médio e a longo prazo, os índices possam ser melhor pontuados.

5. CONCLUSÃO

As empresas de mineração de pequeno porte, na região onde foi realizado o trabalho, ainda não aplicam nem praticam, de maneira eficiente programas da recuperação ambiental e da redução ou minimização dos impactos ambientais nas atividades extrativas. A grande preocupação é com multas e sanções, a nível de punição, porém a fiscalização pelos respectivos órgãos, é muitas vezes inexistente e precária.

Para que esse índice de sustentabilidade melhore nas empresas de extração e beneficiamento de caulim, é necessária uma mudança na política de gestão e no relacionamento com o meio ambiente. A preocupação com o impacto ao meio ambiente deve ser norma da empresa, para que uma mudança de mentalidade possa ser implantada e resultados positivos possam ser alcançados.

Os impactos ambientais das indústrias de mineração do caulim já podem ser sentidos, com a geração constante de resíduos e rejeitos, os quais são descartados e abandonados em áreas próximas às unidades de extração e beneficiamento. Assim, cada empresa deve desenvolver um plano de gestão do passivo ambiental e assim atuar de forma mais sustentável, minimizando assim os impactos ambientais. Contudo, as empresas não estão preparadas, no momento, para assumir essa tarefa por elas próprias, daí que se torna necessário o envolvimento dos órgãos públicos, como Universidades, instituições de pesquisa, e outros, para elaborar, desenvolver e executar junto com elas, programas com vistas ao melhoramento da sustentabilidade da mineração da região.

6. AGRADECIMENTOS

Ao Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação – MCTI pelo apoio financeiro concedido através do Programa de Entidades Associadas CETEM/UFCG. Ao Dr. Francisco W. Hollanda Vidal pelo apoio técnico na realização dos trabalhos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CÂNDIDO, Gesinaldo Ataíde (Org.). **Desenvolvimento Sustentável e Sistemas de Indicadores de Sustentabilidade: Formas de aplicações em contextos geográficos diversos e contingências específicas.** Campina Grande – Pb. Ed. UFCG, 2010.

DAHL, Arthur L. *The big picture: comprehensive e approaches*. In: MOLDAN, B.; BILHARZ, S. (Eds.). ***Sustainability indicators: report of the project on indicators of sustainable development***. Chichester: John Willey and Sons Ltd., 1997.

EEA. Información para mejorar el ambiente em Europa. In: ***Barcelona, lugar de encuentro de las dimensiones medioambiental, económica y social***. Copenhague: European Environment Agency, 2002.

FARIAS, Carlos Eugênio Gomes. **Mineração e Meio Ambiente no Brasil**. Disponível em: <http://cgee.org.br/arquivos/estudos>. Acesso em setembro de 2015.

SACHS, I. **Desenvolvimento Sustentável, bio-industrialização descentralizada e novas configurações rural-urbana: os casos da Índia e do Brasil**. In: VIEIRA, P.F.:

VIANA, M. Boratto. **Avaliando Minas: índice de sustentabilidade da mineração (ISM)**./ Mauricio Boratto Viana. Brasília, 2012. 372p.: il.

Vale E.: **Indicators of Sustainability for the Mining Industry**. ISIEM, Carajás, Pará, Brasil, 24-27 de junho, 2002.

VILLAS BÔAS, Roberto C. **Indicadores de desenvolvimento sustentável para indústria extrativa: Guia Prático** / Roberto C. Villas Bôas. – Rio de Janeiro: CETEM / MCT / CNPq / CYTED / 2009.

O COOPERATIVISMO MINERAL E ALTERNATIVAS DE SUSTENTABILIDADE: UM ESTUDO DE CASO NA COOPICUÍ

*Jaqueline Dantas¹, Klebson Cordeiro Costa², Alunilda Januncio de Oliveira³, José Luciano Albino
Barbosa⁴*

¹ Estudante de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional – PPGDR/UEPB

² Graduado em Ciências Econômicas - UFCG

³ Professora do curso de Ciências Econômicas - UFCG

⁴ Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional - PPGDR/UEPB

jaqueline_dantas2@gmail.com

RESUMO

Com enfoque em conhecer as relações sociais, ambientais e econômicas que permeiam o Desenvolvimento Sustentável em uma empresa de mineração, surge a necessidade de adoção de medidas preventivas e atenuantes para esta atividade. O presente trabalho tem como objetivo investigar a relação da Cooperativa dos Mineradores de Picuí-PB (COOPICUÍ), destacando tanto sua contribuição socioeconômica para o município e trabalhadores afiliados à cooperativa, quanto as questões ambientais. Os procedimentos utilizados na pesquisa foram de ordem bibliográfica e de pesquisa de campo, apresentando um delineamento de Estudo de Caso. Por meio de questionários e entrevistas, direcionados a uma amostra de 21 mineradores ligados à cooperativa, levantou-se dados que serviram para apresentar os seguintes resultados: as ligações entre mineração e sustentabilidade ainda são muito complexas; os resultados da atuação da cooperativa na vida dos mineradores e também nos aspectos ambientais apresentaram-se negativos; e se percebeu uma certa negligência por parte dos envolvidos (cooperativa e cooperados), em todas as esferas sustentáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Desenvolvimento Sustentável. Mineração. COOPICUI.

ABSTRACT

By focusing on meeting the social, environmental and economic relations that underlie sustainable development in a mining company, comes the need for adopting preventive measures and mitigating factors for this activity. This study aims to investigate the relationship of Cooperative Miners Picuí-PB (COOPICUÍ), highlighting both their socio-economic contribution to workers affiliated cooperative, as environmental issues. Bibliographies and field research were the strategies used in this study, to be outlined a case study. Through questionnaires and interviews, aimed at a sample of 21 miners linked to the cooperative, data was collected and it served to present the following results: the links between mining and sustainability are still very complex; cooperative action results in the lives of the miners and also the environmental aspects were negative; and a certain negligence, on the part of those involved, was noted (cooperative and cooperative members), in all spheres of sustainability.

KEYWORDS: Sustainable Development. Mining. COOPICUI.

1. INTRODUÇÃO

O termo Desenvolvimento Sustentável surge em 1987 como uma série de propostas feitas pela ONU, por meio de seus associados e conferências, trazendo em suas propostas e intervenções na sociedade, a possibilidade de um modelo econômico que seja socialmente incluyente, ambientalmente sustentável e economicamente sustentado.

A mineração é uma atividade extrativa que tem o poder de interiorização do território promovendo desenvolvimento econômico, porém esta muda a paisagem do lugar, causando prejuízos duradouros ao meio ambiente. Dessa maneira a sustentabilidade pode ser uma alternativa de amenização dos impactos causados pela mineração, como preservação do meio ambiente e acrescentando ainda as esferas socioeconômicas que permeiam as diretrizes da Sustentabilidade, tais como respeito aos direitos humanos e maximização do bem estar da sociedade. Cooperativas, associações e as empresas do setor mineral podem coligar - se a extração, produção e consumo às ideias sustentáveis, propiciando benefícios conjuntos.

Diante dessas questões na elaboração do problema da pesquisa, pretendeu-se, investigar qual a relação da COOPICUI com a atividade mineraria no município de Picuí/PB, destacando sua contribuição socioeconômica tanto na vida dos trabalhadores afiliados a cooperativa, quanto em relação às questões ambientais do local.

A principal justificativa do trabalho é trazer uma contribuição para o município, em uma de suas atividades econômicas, a mineração, podendo despertar uma consciência sustentável na atividade, assim como na cooperativa que foi estudada. A importância do tema em questão é relevante, uma vez que os resultados da pesquisa pode trazer a tona questões importantes para os trabalhadores das minas e para a cooperativa e o meio ambiente que é o mais atingido pela mineração.

Assim, o objetivo geral do estudo é avaliar a contribuição socioeconômica da COOPICUI para os trabalhadores das minas da cooperativa e para o meio ambiente no município de Picuí-Pb.

Os procedimentos metodológicos utilizados foram baseados no Estudo de Caso utilizando-se de uma pesquisa bibliográfica e após uma de campo, a partir desses métodos coletaram-se dados que serviram para responder as questões do problema da pesquisa.

Por fim, quanto à estrutura deste trabalho, ele está dividido em três tópicos, além dessa introdução e conclusão.

O primeiro tópico apresenta a abordagem teórica da pesquisa em que consta de forma bastante simples a contextualização do Desenvolvimento Sustentável bem como sua interligação com a atividade mineraria, suas repercussões, discursos e dimensões. Procurou-se também estudar a mineração particularizando a brasileira.

No segundo tópico estão os procedimentos metodológicos da pesquisa destacando como delineamento um estudo de caso sobre a COOPICUI e suas repercussões socioeconômicas e ambientais na região.

No terceiro tópico têm-se os resultados do estudo de caso da pesquisa, nele a pesquisadora analisou por meio da amostra coletada *in loco*, a importância da Cooperativa dos mineradores do município de Picuí – COOPICUI – por meio de frequências estatísticas, tabelas e gráficos buscando-se trazer para o estudo uma forma bastante simples de entendimento do problema investigado.

2. O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A ATIVIDADE EXTRATIVA MINERAL

2.1 Breve contextualização do Desenvolvimento Sustentável

Foi no relatório *Brundtland* que se conceituou o que seria desenvolvimento sustentável (DS): “é desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a

capacidade de as futuras gerações satisfazerem suas próprias necessidades” (ONU, 1987). Nessa proposta se destacou o que se chama de *Triple Botton Line*, ou seja, o tripé do Desenvolvimento Sustentável (DS), que, além da visão econômica, considera as questões social e ambiental.

No Brasil, em 1992 aconteceu no Rio de Janeiro um marco para a abordagem ambiental do mundo capitalista moderno, considerado o maior evento desse cunho já realizado: a Rio 92 ou Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Foi elaborada a Agenda 21 – instrumento de planejamento para a constituição de sociedades sustentáveis. Trata-se de um roteiro que mostra a sociedade como ser sustentável. Na ocasião da Rio 92, os países signatários assumiram o compromisso e o desafio de internalizar, nas políticas públicas de seus países, as noções de DS.

Percebe-se, portanto, que a Rio 92 trouxe consigo uma nova filosofia de desenvolvimento, que combina eficiência econômica, justiça social e prudência ecológica.

Houveram outras conferências ambientais, entre elas as Rio + 10 que dentre suas propostas estava os recursos minerais, este tiveram mais vez. A Rio +10 foi perspicaz em considerar a proteção e o manejo dos recursos naturais como base para o desenvolvimento socioeconômico, além de reconhecer a importância do setor mineiro/ metalúrgico e sua contribuição para o desenvolvimento sustentável o combate à pobreza, destacando a contribuição da pequena mineração para as comunidades rurais (CÚPULA..., 2003, p.31).

Tal documento aborda políticas e práticas para a gestão sustentável dos recursos minerais no Brasil, entre as quais estão: as formulações de pequenas empresas e cooperativas; a construção de indicadores de sustentabilidade; o incentivo a maior participação da comunidade nas formulações das políticas públicas; as práticas de reciclagem e de recuperação de áreas degradadas, entre outras.

2.2 A sustentabilidade no âmbito da mineração

A importância dos bens minerais, na modernidade, é relevante, podendo estes ser considerados um dos suportes para o desenvolvimento econômico e o progresso material, como construção civil, transportes, eletrodomésticos, gás, produtos como papel e lápis, entre tantos outros que facilitam a nossa vida. Esse é o papel positivo da mineração, que pode ser cada vez mais acentuado em conformidade com o meio ambiente por meio do DS.

O papel negativo desenvolvido pela mineração decorre das poluições da água, do ar, do solo e da vegetação, bem como dos problemas sociais, como doenças causadas por essa atividade, má remuneração, entre tantos outros.

Como vimos anteriormente o DS pauta em um tripé de dimensões econômicas, sociais e ambientais, dessa forma para que o DS no que tange a mineração e seja um meio que atinja a esfera social, é necessário, conforme MMDS (2003, p.4):

- Garantir uma distribuição justa dos custos e benefícios do desenvolvimento para todas as pessoas que vivem no planeta.
- Respeitar e reforçar os direitos fundamentais dos seres humanos, incluindo liberdades civis e políticas, autonomia cultural, liberdades sociais e econômicas e segurança pessoal e procurar sustentar as melhorias no tempo;
- Assegurar que a redução dos recursos naturais não irá privar as gerações futuras mediante a substituição destes por outras formas de capital.

Consta na MMDS (2003, p.4), os princípios para o desenvolvimento sustentável na esfera econômica que são:

- maximizar o bem estar da humanidade;
- assegurar o uso eficiente de todos os recursos, naturais ou os demais, por meio da maximização de rendas;
- procurar identificar e assimilar custos ambientais e sociais;
- manter e melhorar as condições para a existência de empresas viáveis.

Ainda conforme o MMDS (2003, p.4) menciona acerca da relação entre a área ambiental e o processo de sustentabilidade, é necessário que esses dois meios se unam para que se atinja uma boa alocação de recursos. Entretanto para alcançar esse objetivo, é preciso:

- promover o manejo responsável dos recursos naturais e do meio ambiente, incluindo a reparação de danos anteriores;
- minimizar a quantidade de resíduos e danos ambientais em toda a cadeia de abastecimento;
- ser prudente nos locais em que os impactos são desconhecidos ou incertos, operar dentro dos limites ecológicos e proteger o capital natural crítico.

Após este levantamento de informações acerca da relação do DS e a mineração, abordaremos com mais afinco a tutela ambiental que rege as atividades econômicas no Brasil.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 O desenho da pesquisa

O presente trabalho tem como delineamento de pesquisa o estudo de caso, para o qual foi escolhida a Cooperativa dos Mineradores de Picuí (COOPICUI), bem como sua participação na vida socioeconômica da população envolvida, investigando o seu comportamento em relação às propostas do desenvolvimento sustentável.

Sobre a área de estudo da pesquisa foi colhida informações sobre os impactos da extração mineral e o papel da cooperativa no município de Picuí, situado na região centro-norte do Estado da Paraíba, Mesorregião da Borborema e Microrregião do Seridó Oriental Paraibano.

A região é predominantemente rica em recursos minerais. Os minerais explorados estão divididos em: tantalita, xelita, quartzo, berilo, caulim, calcedônia, mica, barita, feldspato, urânio, enxofre, entre outros (GERMANO, 2011).

As características do universo e da amostra da pesquisa são as seguintes: a cooperativa conta, atualmente, com 38 associados, entre os quais 33 são exploradores e 5 são donos dos garimpos que se situam na zona rural do município, quais sejam: Comunidade Pedreiras, Lagoa da Coruja, Mari Preto, Lagoa Cercada e Serrote do Tigre.

Os minérios comercializados pela COOPICUI são a Albita e o Feldspato, ambos encontrados em pegmatitos e abundantes na região. Esses minerais possuem um amplo mercado, pois são destinados ao uso civil, como na fabricação de cerâmicas, porcelana, plásticos, entre outros afins, além do paralelepípedo e do meio-fio, que são utilizados na construção civil e no calçamento de ruas e estradas.

Do total dos 38 mineradores associados à cooperativa, 21 foram escolhidos para a pesquisa, abrangendo mais de 55% do universo estudado. Sendo assim, a amostra da pesquisa constitui-se de 21 mineradores associados. Do total das 5 minas, foram visitadas 3 em que a cooperativa atua: Comunidade Pedreiras, Lagoa Cercada e Lagoa da Coruja – número que se deveu à impossibilidade de acesso às outras duas minas restantes. Como atualmente a cooperativa comercializa apenas o paralelepípedo e o meio-fio, as pedreiras visitadas foram justamente aquelas em que acontece a extração desses minérios.

A coleta dos dados foi realizada mediante a aplicação de dois modelos de questionários: o primeiro, direcionado aos associados, aplicado a uma amostra de 21 mineradores da cooperativa; o segundo, aplicado ao diretor da cooperativa para um entendimento mais detalhado de como ela

trabalha e, ainda, se respeita as normas legais – as exigências que estão atreladas a uma cooperativa de mineração – e a sustentabilidade.

A análise e o tratamento dos dados foram de caráter quantitativo e qualitativo e se deu de forma bastante elementar, contando com o auxílio de tabelas e gráficos e buscando, dessa forma, investigar as informações coletadas por meio dos questionários e das entrevistas, analisando-as. Para avaliar os resultados, foi utilizado o método estatístico descritivo, mediante frequência percentual, que possibilita informações sobre a representatividade das respostas obtidas em relação ao seu conjunto. No caráter qualitativo (observação, questionários, análise documental e entrevistas), apresentou-se um caráter diferenciado, haja vista que foram coletadas com base em pontos de vista.

Após os passos descritos anteriormente, competiu ao investigador analisar e interpretar os dados, buscando averiguar a sua relevância e seu significado no que se refere aos propósitos da pesquisa.

4. ESTUDO DE CASO: ANÁLISE E RESULTADOS DA PESQUISA EMPÍRICA

Neste tópico, serão analisados os resultados obtidos a partir da pesquisa realizada com base nos procedimentos metodológicos explanados no tópico 2. As informações posteriores foram coletadas mediante pesquisa de campo, por meio de questionários e entrevistas, e contou com 21 mineradores e o diretor da Cooperativa dos Mineradores de Picuí (COOPICUÍ).

4.1 Perfil socioeconômico dos mineradores da COOPICUÍ

Com os questionários contendo 29 questões foi possível levantar dados importantes para o presente estudo, partiremos dos dados socioeconômicos dos mineradores.

Sobre a idade através das conversações “*In Loco*” constatou-se que os mineradores com a idade de 51 a 60 anos são os que estão na atividade há bastante tempo.

Como já dito anteriormente, a atividade de mineração nas zonas semiáridas do Nordeste brasileiro apresenta uma singular característica, que é proporcionar renda às famílias de agricultores, as quais são castigadas pela seca. Dessa forma, a mineração entra como uma opção de trabalho para esses habitantes. Levantou-se na pesquisa que 14 mineradores, ou seja, 67% da

amostra, tinham como atividade complementar de renda a agricultura e 7 outros que assumem outras profissões – carpinteiro, pedreiro, pintor e artesão.

Sobre a quantidade de horas trabalhadas nos garimpos examinou-se na pesquisa *in loco* que a grande maioria (81%) dos mineradores trabalha de 4 a 8 horas, e apenas 19% trabalham mais de 8 horas demonstrando uma atividade bastante exaustiva.

A pesquisa de campo pôde constatar um número que merece nossa atenção: 100% dos mineradores não são registrados, ou seja, não trabalham com carteira assinada, distanciando-se da esfera social que a sustentabilidade propõe.

Em se tratando de equipamentos de segurança, os Equipamentos de Proteção Individual (EPI) são essenciais para a segurança de qualquer trabalhador, principalmente se a empresa se encontrar dentro dos princípios sustentáveis. Diante dessa questão, a maioria dos mineradores (67%) relataram que usava equipamentos de segurança, tais como: botas, calça, luvas e mangas.

Sobre o ponto de vista econômico dos mineradores da cooperativa levantou-se *in loco*, que a grande maioria (76%) afirma que a mineração é a principal fonte de renda da família; os outros 24% afirmaram não ser a mineração a principal fonte de renda, pois têm na agricultura sua principal fonte. Sobre a média salarial 76% dos mineradores recebem uma média de até 1 salário mínimo e apenas 24% disseram que ganham mais de dois salários mínimos.

A segunda intenção da pesquisa é investigar o conhecimento dos mineradores à respeito do Desenvolvimento Sustentável bem como a própria cooperativa e suas ações ambientais.

Sobre o que seja o Desenvolvimento Sustentável, a maioria dos mineradores (76%) não sabem e nem nunca ouviram falar a respeito desse conceito; mas, todos os mineradores mostraram-se conscientes ao responderem que a atividade de mineração traz danos graves para o meio ambiente, onde se destacou a informação de que a maioria dos mineradores (43%) informaram que a atividade destrói o meio ambiente.

Os mineradores foram questionados o Programa de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD). O pesquisador quis fazer esta pergunta, pois segundo o diretor da COOPICUI, as minas já fizeram o PRAD em parceria com o Instituto Federal da Paraíba (IFPB) *campus* de Picuí. O resultado foi o seguinte: do total da amostra pesquisada, 19 mineradores afirmaram que não tinham noção do que seja este programa e apenas 2 disseram que já ouviram falar.

Outra questão perguntada foi em relação aos rejeitos da mineração, isto é, qual o seu destino. 76% dos trabalhadores informaram que boa parte dos rejeitos não tem lugar certo, ou seja, eles são jogados em qualquer lugar, no meio ambiente. Os outros 24% dos informantes

dividiram-se em suas respostas da seguinte forma: 12% afirmaram que vendem os rejeitos para a construção civil, e os outros 12% que quando sobram muitos rejeitos (geralmente os menores), e não são comercializados, eles fazem grandes buracos na terra e jogam lá esses rejeitos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa se ateve a investigar a relação da COOPICUÍ com a atividade de mineração no município de Picuí/PB, destacando tanto sua contribuição socioeconômica para os trabalhadores afiliados a cooperativa, quanto às questões ambientais. Parte-se da hipótese de que a mineração não é sustentável e por decorrência, cooperativas, associações e as empresas em geral deste campo não cumpre ações antecipatórias no meio ambiente negligenciando também as suas outras dimensões sociais e econômicas. Para se constatar tal hipótese foi necessário levantar dados a partir da pesquisa teórica e de campo quanto aos conceitos de sustentabilidade bem como aspectos do setor mineral e a cooperativa em questão.

A partir da análise da situação mineral do município, bem como a participação da cooperativa e suas ligações com o Desenvolvimento Sustentável, por meio de verificações *in loco* realizadas, a conclusão geral da pesquisa é que não se concilia a sustentabilidade nem suas dimensões e propostas à mineração, pois como veremos a diante os dados colhidos e analisados mostraram que para se ter um modelo sustentável em qualquer empresa é preciso levantar discussões e responsabilidade para uma gestão qualificada.

Ao se investigar os mineradores da pesquisa constatou-se que estes possuem diferentes faixas etárias não sendo dessa forma a idade um impedimento para trabalhar. Por ser o objeto de estudo uma cooperativa localizada no Seridó da Paraíba, a COOPICUÍ, algumas características singulares merecem ser ditas, como a migração constante de atividades que os mineradores fazem, a incitar o seu instinto de sobrevivência corroborando para seu bem estar, a pesquisa assim conclui que mesmo atuando nas pedreiras, os mineradores são instigados a exercer outras profissões para complementar a renda de suas famílias.

O que se compreendeu no quesito de formalidade trabalhista foi totalmente contrário, viu-se que a informalidade atingiu 100% dos entrevistados, a mostrar por parte da cooperativa o descaso a contar normas institucionais que foram desrespeitadas.

No que tange ao aspecto econômico, a pesquisa demonstrou nos seus gráficos e tabelas, que quem está envolvido na mineração faz dela sua principal fonte de renda, os motivos já foram

citados anteriormente. Mas o que se comprova é que a atividade não é rentável, pelo menos no local do estudo, o que se obtém apenas é pra sobrevivência, A busca do pesquisador foi detectar o interesse dos trabalhadores e da cooperativa a respeito dos cuidados com o meio ambiente e o DS.

A cooperativa fez a sua pequena parte, de realizar um PRAD na região, mas nada além disso, nenhuma outra ação de iniciativa própria ou sequer por parte dos mineradores, constando-se que de meio ambiente, nem a atividade, cooperativa, trabalhadores ou quem quer que esteja vinculado ao setor está com as devidas preocupações. Todos se mostraram sem qualquer capacidade de ampliação de benefícios e minimização dos efeitos negativos da atividade mineral.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CÚPULA MUNDIAL SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Declaração de Joanesburgo e Plano de Implementação**. Brasília: MMA, 2003.

GERMANO, T. Aqui se vive melhor: 107 anos de história! Seis anos de desenvolvimento. Edição comemorativa. **Picuí em Revista**, Picuí, 2011.

MMDS – Mineração, Minerais e Desenvolvimento Sustentável. **Abrindo novos caminhos** mineração, minerais e desenvolvimento sustentável. 2003. Disponível em: <http://www.iied.org/mmsd/mmsd_pdfs/ab/anc_sumario.pdf>. Acesso em: 18 jun.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Assembleia Geral**: Relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. 1987. Disponível em: <<http://www.un.org/documents/ga/res/42/ares42-187.htm>>. Acesso em: 7 jun. 2014.

DESMONTE COM ESTRATÉGIAS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA: UMA COLABORAÇÃO PARA A SAÚDE E BEM-ESTAR DO TRABALHADOR E POPULAÇÕES CIRCUNVIZINHAS

Julio Cesar de Pontes¹, Paulo H.M. do Nascimento², Valdenildo Pedro da Silva³, Vera L.A. de Lima⁴

¹ Professor Doutor - Diretoria Acadêmica de Recursos Naturais (DIAREN) - IFRN - Avenida Senador Salgado Filho, 1559, Tirol – Natal – RN – CEP: 59150-015;

² Aluno – Diretoria Acadêmica de Recursos Naturais (DIAREN) – IFRN - Avenida Senador Salgado Filho, 1559, Tirol – Natal – RN – CEP: 59150-015;

³ Professor Pesquisador - Diretoria Acadêmica de Recursos Naturais (DIAREN) – IFRN - Avenida Senador Salgado Filho, 1559, Tirol – Natal – RN – CEP: 59150-015;

⁴ Professora Doutora – Universidade Federal de Campina Grande – Campina Grande-PB
E-mail: pontesblaster@gmail.com

RESUMO

A atividade de mineração é necessária para o desenvolvimento da sociedade. Entretanto, a operação do desmonte de rocha utilizando substâncias explosivas, tem provocado problemas socioambientais, refletindo na qualidade de vida dos trabalhadores e no bem-estar da comunidade do entorno. Os danos maléficos ao meio ambiente parecem estar atrelados ao ultralaçamento de rochas, as vibrações ocasionadas pelo excesso da quantidade de explosivos, a emissão de poeira geradas pelos gases expelidos após a detonação, ao aumento dos ruídos, ao assoreamento de áreas e/ou de drenagens adjacentes às minerações, além da alteração visual e paisagística. O objetivo desse estudo foi o de analisar como a aplicação da Produção Mais Limpa na operação do desmonte de rocha, utilizando explosivos, pode contribuir para a melhoria da saúde e do bem-estar do trabalhador e da população circunvizinha à mineração. Esse estudo foi realizado na pedreira urbana Minerações e Construções LTDA, situada no município de Macaíba/RN. O estudo seguiu alguns passos metodológicos: levantamento de referências, realização de leituras, fichamentos e pesquisa de campo. Os resultados são os de que com a adoção de princípios da metodologia de Produção Mais Limpa, na pedreira urbana Minerações e Construções LTDA, obteve-se várias melhorias dentre as quais merecem destaque a diminuição

dos problemas elencados acima e a transformação da qualidade de vida da população do entorno da mineração.

PALAVRAS-CHAVE: Desmonte de rochas. Produção Mais Limpa. Impactos ambientais negativos. Populações circunvizinhas.

ABSTRACT

The mining activity is required for the development of society. However, the operation of the rock blasting using explosives, has caused environmental problems, reflecting the quality of life of workers and the surrounding community welfare. The harmful environmental damage appear to be linked to the rocks ultralaçamento, the vibrations caused by the excess of the amount of explosives, the emission of dust generated by the exhaust gases after the detonation, the increase in noise, silting areas and / or drainages adjacent to the mines, plus the visual and landscape change. The aim of this study was to analyze how the application of Cleaner Production in the operation of blasting rock using explosives, can contribute to improving health and worker well-being and the surrounding population to mining. This study was conducted in urban quarry Minerações and Construction LTD, located in the municipality of Macaíba / RN. The study followed some methodological steps: survey references, conducting readings, fichamentos and field research. The results are that with the adoption of principles of Cleaner Production methodology in urban quarry Minerações and LTDA construction, we obtained several improvements among which are worth mentioning the reduction of problems listed above and the transformation of the quality of life surrounding the mining population.

KEYWORDS: Disassemble rocks. Cleaner Production. negative environmental impacts. surrounding populations.

1. INTRODUÇÃO

A atividade da mineração é necessária para o desenvolvimento industrial do país em seus mais diversos setores produtivos ao longo dos anos sempre foi um dos sustentáculos dos poderes econômico e político. Essa atividade econômica demanda de uma série de procedimentos

extrativos que tem causado impactos ambientais. O desmonte de rocha é definido, por Gama (2003), como sendo o conjunto de processos utilizados para proceder à fragmentação de determinado volume de rocha do maciço rochoso; podendo ser dividido em três grandes grupos: desmonte mecânico, hidráulico e com explosivo; logo, esse conceito pode ser estabelecido pela geomecânica do maciço. A utilização de substâncias explosivas sem aplicação de técnicas específicas na atividade do desmonte de rocha, em áreas próximas a centros urbanos, como é o caso do estudo em tela, pode gerar impactos ambientais diversos como, por exemplo: os relacionados com vibrações nos terrenos, fenômeno esse que se manifesta sempre que ocorre detonação não controlada devido às energias transmitidas ao maciço rochoso (BERNARDO, 2004). Os problemas gerados por esse fenômeno normalmente se refletem nas perturbações causadas às comunidades que se encontram nas proximidades e também em danos nas estruturas e equipamentos localizados na vizinhança.

O desmonte de rocha, com a finalidade de produzir brita, a ser utilizada diretamente na construção civil, vem se dando por meio de desconforto humano e de impactos ambientais, prejudicando a saúde de trabalhadores, que estão expostos a essa atividade, bem como a saúde da população do entorno. A exposição humana aos efeitos diversos, causados pelo desmonte de rochas, pode ser sentida pelo ultralaçamento de rochas, ruído gerado pela movimentação das máquinas e equipamentos, poeira geradas pelos gases expelidos após a detonação, vibração ocasionada pelo excesso da quantidade de explosivos, modificações das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio. Nesse sentido, o controle e a minimização desses efeitos é uma prática importante que deve acompanhar o planejamento e a execução dos trabalhos de desmonte de rocha (SÁNCHEZ, 1995).

Portanto, incorporar a preocupação ambiental, o bem-estar social com a saúde do trabalhador, a partir do momento que se pretende reduzir custos e acrescentar índices de produtividade, com uma melhoria da imagem perante à sociedade, requer a agregação da aplicação de técnicas de Produção Mais Limpa.

A Produção Mais Limpa consiste em uma estratégia preventiva e integrativa, que é aplicada a todo ciclo de produção para fazer: a) aumentar a produtividade, assegurando um uso mais eficiente da matéria-prima, energia e água; b) promover melhor performance ambiental, através da redução de fontes de desperdícios e emissão; c) reduzir impacto ambiental por todo ciclo de vida de produto através de um desenho ambiental com baixo custo efetivo (UNIDO, 2006).

No entanto, devido às relações continuadas estabelecidas entre a dinâmica do crescimento das cidades, particularmente nas últimas décadas, como os conflitos decorrentes do uso do solo e dos impactos ambientais, ressaltados pelo fato de que poucas empresas praticam suas atividades de modo a evitar tal situação. Todavia, a empresa Minerações e Construções LTDA, Agregada da Votorantim Cimentos, localizada no município de Macaíba/RN – objeto dessa investigação – apesar de deter certa importância no contexto econômico-social para a cidade, afora o fato de assumir compromissos afetos à boa relação homem versus natureza, vinham recebendo algumas reclamações da população vizinha, quanto à vibração, ultralanchamento, emissão de poeira e ao ruído.

Em função do problema de pesquisa aqui apresentado, o objetivo deste estudo foi o de analisar como a aplicação da produção mais limpa na atividade do desmonte de rocha pode contribuir para minimizar os impactos ambientais negativos e melhorar a saúde e do bem-estar de trabalhadores e populações circunvizinhas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

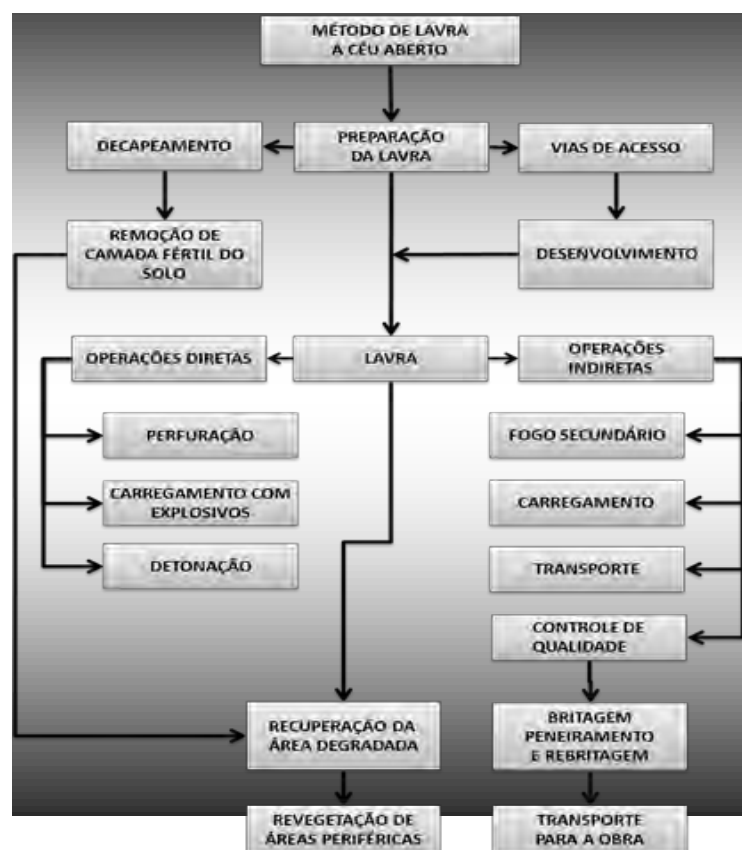


Figura 1 – Fluxograma do método de lavra e beneficiamento, Pontes 2013.

Avaliação das variáveis socioambientais da população do entorno – Para avaliar as variáveis relativas às dimensões sociais, ambientais, e culturais aos processos de gestão urbana, com base no sistema de ferramenta de gestão ambiental, realizou-se uma pesquisa exploratória, compreendendo entrevistas com a população vizinha ao empreendimento, que segundo (GIL, 2008), tem como objetivo proporcionar maior entendimento do problema a ser estudado. As entrevistas aplicadas tiveram como objetivo captar informações sobre a relação de vizinha da comunidade com atividade da pedreira;

Investigação dos poluentes disseminados no meio ambiente motivado pela atividade do desmonte de rocha – Esta investigação é efetivada por atividade de campo, acompanhando os trabalhos de desmonte de rocha, observando as técnicas que são utilizadas pela empresa atualmente e, posteriormente, adotar procedimentos para minimizar os impactos causados à população vizinha.

Dessa forma, foram investigados os impactos positivos e negativos do empreendimento, através de pesquisa experimental quantitativa e qualitativa dos impactos decorrentes da atividade do desmonte de rocha com explosivo, alvo desse estudo, que tem mostrado diversas preocupações no domínio ambiental.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em face dos suportes teóricos e da observação dos dados levantados, analisa-se que os principais impactos ambientais, decorrentes de desmonte de rocha com explosivos, estão associados à dissipação da fração de energia liberada pelo explosivo por ocasião da detonação que não é transformada em trabalho útil. Tal fração de energia dissipa-se, em sua maior parte, através do maciço circundante sob a forma de vibrações, e da atmosfera sob a forma de ruído e sobrepressão atmosférica, que é causada pela movimentação do material desmontado ou por perda de energia durante a detonação de cargas explosivas (liberando gases confinados de modo inadequado). Gera, complementarmente, poeira podendo ainda ocasionar danos ao maciço remanescente e ultralaçamento.

Por meio do fluxograma do processo, apresentado anteriormente, foram contemplando os 20 processos industriais que vão desde o método de lavra a céu aberto, preparação da lavra, decapeamento, vias de acesso, remoção de camada fértil do solo, desenvolvimento, lavra, operações diretas, operações indiretas, perfuração, fogo secundário, carregamento com

explosivos, detonação, transporte, controle de qualidade, recuperação da área degradada, britagem, peneiramento, rebritagem, recuperação da área degradada, revegetação de área periféricas até o transporte para a obra. Avaliou-se, também, todas as etapas do processo do processo de desmonte de rochas e a inserção de princípios da produção mais limpa, visando a melhoria contínua do meio ambiente.

Por meio da pesquisa exploratória levantou-se os impactos positivos e negativos, quanto aos meios: físico, biótico e antrópico, apresentado pelo quadro 1.

Fatores Ambientais	Meio Físico					Meio Biótico		Meio Antrópico										
	Água		Ar			Solo	Fauna	Flora	Vizinhança									
	Interferência em águas superficiais	Gases e Poeiras	Vibrações	Ruído	Ultrapassamento	Erosão da zona de lavra	Migração de Aves/Mamíferos	Interferência na vegetação	Ativ. Econômica				Saúde		População			
Aspectos/Atividades								Geração de empregos em pregos	Geração de tributos	Desvalorização Imobiliária	Fornecimento de matéria prima	Acidente no Trabalho	Doenças e danos a saúde	Aumento da população no entorno da pedreira	Alteração visual e paisagística	Conflito no uso e ocupação do solo		
Decapeamento	N	N	N	N	-	N	N	P	P	N	N	N	-	N	N	N		
Perfuração das bancadas	N	N	N	N	-	-	N	-	P	P	-	P	N	N	-	-	-	
Carregamento dos furos com explosivo	-	-	-	-	-	-	-	-	P	P	-	P	N	N	-	-	N	
Amarração do fogo	-	-	-	-	-	-	-	-	P	P	-	P	N	N	-	-	-	
Detonação	N	N	N	N	N	N	N	N	P	P	N	P	N	N	-	N	N	
Carregamento e transporte	N	N	N	N	N	-	N	N	P	P	N	P	N	N	-	N	N	
P = Impacto Positivo		N = Impacto Negativo					(traço) = Inexistência de Impacto											

Quadro 1. Impactos do desmonte de rocha a explosivos: atividade e meio afetado, Pontes, Farias e Lima (2013).

Através do estudo realizado procurou-se identificar os aspectos ambientais relacionados com o desmonte de rocha, a pressão na saúde do trabalhador e no bem-estar ambiental da comunidade mais próxima. No quadro 2 apresenta-se os diversos aspectos ambientais de entradas e saídas nas diversas etapas dessa atividade e os riscos a que estão expostos os trabalhadores e populações circunvizinhas.

ASPECTOS AMBIENTAIS	PRESSÃO NA SAÚDE DO TRABALHADOR E POPULAÇÕES CIRCUNVIZINHAS				
	Físico	Químico	Biológico	Mecânico	Ergonômico
Desmatamento	X				
Erosão	X			X	
Consumo de insumos		X			
Consumo de substâncias explosivas	X	X		X	X
Geração de ruído	X				
Geração de calor				X	
Emissão de poluentes				X	
Geração de gases de efeito estufa	X				
Geração de poeira		X			
Geração de resíduos sólidos	X			X	
Ultrapassamento				X	
Vibração	X				

Quadro 2 - Análise da pressão da saúde do trabalhador e populações circunvizinhas a partir dos aspectos ambientais, Pontes 2013.

A partir de uma análise realizada em consonância com os aspectos ambientais e as pressões na saúde do trabalhador e populações circunvizinhas, pode-se constatar diversos riscos para a saúde, dentre eles: físicos, químicos, biológicos, mecânicos e ergonômicos. Santos (2008) cita que os riscos físicos são efeitos gerados por máquinas, equipamentos e condições físicas características do local de trabalho, que podem causar danos à saúde do trabalhador e populações circunvizinhas. Os riscos químicos são representados pelas substâncias químicas que se encontram nas formas líquida, sólida e gasosa. Os riscos biológicos são causados por microrganismos invisíveis a olho nu, como bactérias, fungos, vírus e bacilos. Os riscos mecânicos ocorrem em função das condições físicas do ambiente do trabalho e tecnologias impróprias, capazes de colocar em perigo a integridade física do trabalhador e população circunvizinha. E, finalmente, os riscos ergonômicos são contrários às técnicas de ergonomia, que propõem que os ambientes de trabalho devem se adaptar ao homem, propiciando bem estar físico e psicológico.

Diante de cenários adversos, com o desmonte de rochas, viu-se que a implementação da ferramenta de Produção Mais Limpa, na empresa Minerações e Construções LTDA, tornou-se necessária no sentido de se minimizar os impactos ambientais de grande magnitude. Após a implantação de ações de Produção Mais Limpa, a mineradora passou a apresentar um aumento da produtividade, assegurando um uso mais eficiente da matéria-prima, a promoção de uma melhor performance ambiental – motivando e reduzindo a vibração no desmonte, a emissão de poeira, o ultralancamento de rochas, o ruído e a redução de impactos ambientais negativos e a redução de desperdícios resultantes no desmonte utilizando substâncias explosivas.

4. CONCLUSÕES

O estudo sobre a contribuição da aplicação da Produção Mais Limpa na atividade do desmonte de rocha na empresa Minerações e Construções LTDA, situada no município de Macaíba/RN, permitiu concluir que a atividade da mineração provoca impactos em todas as fases do empreendimento tais como: pesquisa, implantação, operação e desativação da lavra. Durante a fase de operação do desmonte de rocha e deposição do estéril, tanto a mineração a céu aberto quanto a subterrânea modificam e degradam o meio ambiente, uma vez que promovem a alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio onde está inserida.

Observou-se que o desmonte de rochas com explosivos modifica e degrada o meio ambiente, uma vez que promovem a alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio onde está sendo exercida a mineração.

Assim sendo, é nítida a importância de se aplicar um modelo de gestão ambiental na atividade do desmonte de rocha, com o objetivo de melhorar as condições do meio, a saúde e segurança do trabalhador e populações circunvizinhas, permitindo dessa forma obter indicadores de geração de ruído, geração de calor, emissão de poluentes, geração de poeira, ultralancamento e vibração, transformando o processo mais eficiente, antecipando problemas e prevendo soluções.

Para atingir os objetivos desse trabalho, buscou-se realizar uma análise da pressão da saúde do trabalhador e populações circunvizinhas a partir dos aspectos ambientais, realizar uma pesquisa exploratória que apontou seus impactos, positivos e negativos, bem como os resultados alcançados pela sua implementação, através da análise da empresa Minerações e Construções LTDA.

Diante do exposto, a aplicação da Produção Mais Limpa é de fundamental importância para minimizar os impactos ambientais e sensibilizar a sociedade para melhor aproveitar os recursos naturais existentes, pois visa reduzir custos operacionais, além de buscar soluções economicamente viáveis para a redução da geração dos resíduos, ou até mesmo a não geração de “sobras” nas etapas ao longo do processo (HENRIQUES e QUELHAS, 2007).

Portanto, a aplicação dessa ferramenta de gestão ambiental contribuiu para a geração de uma gestão integrada e participativa nessa atividade econômica, contribuindo para a melhoria do desempenho ambiental da mineradora e, por conseguinte, para a saúde do trabalhador e das populações circunvizinhas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNADO, P. A. M. **Impactos ambientais do uso de explosivos na escavação de rochas, com ênfase nas vibrações**. 2004. 385f. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2004.

GAMA, C. D. da. **Curso vibrações em geotécnica: geração, monitorização, impactos ambientais, critérios de dano e sua mitigação**. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2003.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2008.

HENRIQUES, L. P.; QUELHAS, O. L. G. **Produção mais limpa: um exemplo para sustentabilidade nas organizações.** 2007. Disponível em: <http://www1.sp.senac.br/hotsites/sigas/docs/20071016_CAS_ProducaoMaisLimpa.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2011.

PONTES, J. C. **Impactos de vizinhança proporcionados pelo desmonte de rocha com uso de explosivos: estudo de caso na “Mineração Dantas Gurgel & Cia Ltda”, Caicó-RN.** 2013. 45 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande. Paraíba, 2013.

PONTES, J. C.; FARIAS, M. S. S.; LIMA, V. L. A. Mineração e seus reflexos socioambientais: estudo de impactos de vizinhança (EIV) causados pelo desmonte de rochas com uso de explosivos. **Polêmica Revista Eletrônica**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, jan./mar. 2013.

SANTOS, **Definição de riscos ambientais no trabalho.** 22 de Junho (2008). Disponível em <http://pt.shvoong.com/medicine-and-health/epidemiology-public-health/1821378>. Acesso em: 25 mai. 2011.

SÁNCHEZ, L.E. Ruído y sobrepresion atmosférica. In: REPETTO, F.L. e KAREZ, C.S (Eds), **Aspectos geológicos de proteccion ambiental.** Montevideo: PNUMA/UNESCO e Instituto de Geociência/UNICAMP, V.1, p.189-196, 1995.

UNIDO. **Manual on the development of cleaner productions policies: approaches and instruments.** Disponível em: <www.unido.org>. Acesso em: 22 out. 2006.

O MERCADO DE FERTILIZANTES NPK NO BRASIL

*Pedro Igor Veillard Farias*¹, *Estevão Freire*²

¹ Analista em Geociências (MSc.), CPRM

² Professor Adjunto (DSc.), UFRJ

pedro.farias@cprm.gov.br

RESUMO

O Brasil possui vocação para a agroindústria: dimensão continental, clima e tecnologia. Enquanto a balança comercial brasileira apresentou um déficit de U\$ 3,9 bilhões de dólares em 2014, apenas a exportação de Soja foi responsável pela receita de U\$ 31,4 bi. Todavia, o Brasil ainda é importador de fertilizantes. O gás natural, as rochas fosfáticas e as rochas potássicas são as principais matérias primas para a produção dos fertilizantes NPK mais utilizados. Atualmente, o Brasil importa cerca de 25 milhões de toneladas de fertilizantes ao ano, valor equivalente a U\$ 8.4 bilhões (FOB) negativos na balança comercial. O potássio é o nutriente que apresenta maior dependência em importação. O presente trabalho é um panorama atual da indústria de fertilizantes no Brasil e pode servir como fonte de informações para os mais diversos estudos futuros.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão e inovação tecnológica na indústria química, Fertilizantes.

ABSTRACT

Brazil has the vocation for agribusiness: continental dimension, climate and technology. While the Brazilian trade balance showed a deficit of \$ 3.9 billion in 2014, only the export of soy was responsible for the export of US \$ 31.4 billion. Nevertheless, Brazil is a fertilizer importer. Natural gas, phosphate rocks and potassic rocks are the main raw materials for the production of the most used NPK fertilizers. Brazil imports approximately 25 million tons of fertilizers per year, equivalent to U\$ 8.4 billion (FOB) negative in trade balance. Potassium is the nutrient that has the major external dependence. This work is a current overview of the fertilizer industry in Brazil and can be used as a source of information for different future studies.

KEYWORDS: Management and innovation in chemical industry, Fertilizers.

1. Introdução

A indústria de fertilizantes brasileira pode ser dividida em diversas fases, marcadas por diferentes políticas setoriais. A primeira fase, anterior a 1966, é caracterizada por produções pequenas. Os primeiros projetos começaram a ser implantados no início da década de 60. A segunda fase compreende o período entre 1967 e 1973. Com a política agroexportadora adotada pelos governos militares e, também, com o advento da revolução verde, a demanda por fertilizantes aumentou muito. Foram feitos diversos investimentos na indústria para aumentar a produção interna. Na terceira fase, de 1974 a 1979, foi lançado o I Programa Nacional de Fertilizantes e Calcário Agrícola, implantando uma forte indústria nacional de fertilizantes, baseada em capital estatal. A quarta fase compreende a consolidação da indústria nacional de fertilizantes (1980 a 1988), em resposta aos investimentos realizados no período anterior. De 1988 a 1995 (quinta fase), o Brasil passou por muitas mudanças na política governamental em relação aos fertilizantes. Houve saída do capital estatal na indústria de fertilizantes e esta deixou de ser vista como estratégica (KULAIFF; FERNANDES, 2010). Atualmente (sexta fase), o Brasil consome cerca de trinta e dois milhões de toneladas de fertilizantes anualmente, sendo que a maior parte deste total é importada (www.anda.org.br).

Enquanto o faturamento líquido da indústria química brasileira aumentou em 268 % no período de 1996 a 2012, a indústria de fertilizantes aumentou seu faturamento em 470 % (ABIQUIM, 2014). Entretanto, este fenômeno é relacionado à elevação de preços no mercado de fertilizantes durante este período.

Os principais indicadores nacionais relativos ao setor de fertilizantes são: 1) Fertilizantes entregues ao consumidor final; 2) Produção nacional de fertilizantes intermediários; 3) Importação de fertilizantes intermediários; 4) Principais exportações de fertilizantes e formulações NPK. A Figura 1 apresenta o histórico nacional do mercado dos fertilizantes de 1998 a 2014.

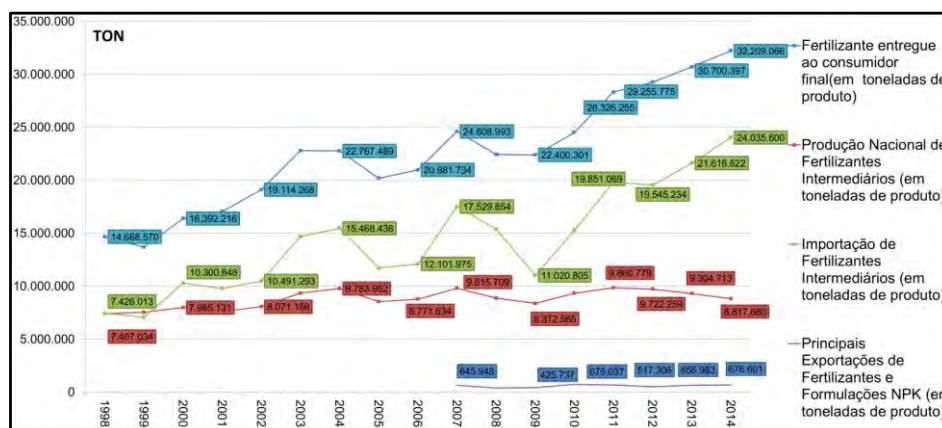


Figura 1 - Principais indicadores de fertilizantes – Adaptado de ANDA (2014)

Verifica-se que a produção de fertilizantes não acompanhou a demanda esperada pelo mercado de 1998 a 2014. Neste período, a produção de fertilizantes aumentou 18 %, enquanto o consumo aumentou 119 %. De acordo com MDIC (2015), o Brasil importou quase 8,4 bilhões de dólares (ou 24,9 milhões de toneladas) de fertilizantes de janeiro a dezembro de 2014. As exportações (363 milhões de dólares ou 801 mil toneladas) têm valores pequenos frente às importações.

A alta dependência externa (cerca de 75 % do consumo em 2014) leva a consequências geopolíticas negativas para o Brasil. O país torna-se suscetível a flutuações de câmbios e preços, além de correr o risco de ficar sem os insumos básicos necessários à produção agrícola (FARIAS, 2015).

O preço dos fertilizantes aumentou muito no período de 1994 a 2009. De acordo com Lins (2009), este aumento ocorreu devido à pressão pela expansão da produtividade agrícola (fato semelhante ocorreu com os defensivos e as sementes), diminuição dos estoques internacionais de minerais fertilizantes e fertilizantes, elevação do preço do gás natural (onerando o custo de fabricação da amônia e da ureia) e, por fim, reposição da margem de lucro pela indústria de fertilizantes. Ainda segundo Lins (2009), entende-se que a pressão pela expansão da produtividade agrícola ocorreu, principalmente, pelo aumento da renda de países emergentes com enormes populações, como China e Índia. A demanda maior por dietas mais ricas em carnes e laticínios também impulsionou o maior emprego de grãos para rações animais, aumentando a demanda. A alta no preço do petróleo onerou o frete para os alimentos, assim como as outras commodities em geral. Tal análise refletia a estrutura de 2009. Entretanto, em 2015, a baixa na cotação Brent do petróleo tem desonerado o custo de transporte das commodities.

2. Metodologia

Para a realização do trabalho, foram buscados dados de diversas instituições privadas e governamentais, como o sistema Aliceweb (Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior do MDIC), onde foi possível encontrar a importação, exportação, o preço, a origem, o porto de destino, além de outras informações sobre os fertilizantes e intermediários no Brasil.

Através do DNPM (Ministério de Minas e Energia), é possível obter a descrição do mercado para os principais recursos minerais produzidos no Brasil. É possível obter informações como oferta mundial, produção interna, importação, exportação, consumo interno, projetos em andamento/previstos e fatores relevantes sobre o mercado mineral mundial e brasileiro. Através da CPRM, é possível obter resultados de estudos realizados pela empresa a fim de revelar

potenciais reservas minerais necessárias ao aumento da produção nacional de fertilizantes. Dados do Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes, da ANDA (Associação Nacional para Difusão de Adubos) também foram usados para possível obter informações sobre produção, consumo, importação, exportação seccionados por estados no Brasil. Outras fontes diversas foram consultadas.

3. O mercado de fertilizantes NPK no Brasil

3.1 Fertilizantes Nitrogenados

O Brasil produziu 1.225.655 toneladas de amônia em 2013. A fração destinada à produção de fertilizantes foi de 60,4 %. Em massa (e também em conteúdo de nitrogênio), o fertilizante nitrogenado intermediário mais produzido em 2013 foi a ureia (ANDA,2014).

É possível acompanhar o histórico de produção de amônia (para fertilizantes) desde 1985 na Figura 2. Não houve investimentos na indústria capazes de aumentar consideravelmente a produção de intermediários nitrogenados depois da instalação da Fafen-BA (1971), da Fafen-SE (1982) e da Fafen-PR(1982).

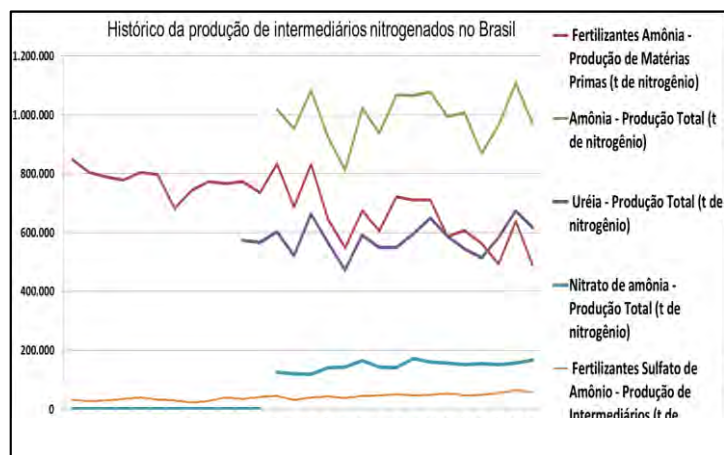


Figura 2 - Histórico da produção de nitrogenados no Brasil – Adaptado de ANDA (2000 a 2014).

A Região Nordeste é a principal produtora de matéria prima para indústria de fertilizantes nitrogenados. Sozinha, foi responsável pela produção de 57 % de toda a amônia brasileira em 2013, além de ser responsável por 71% de toda a produção de amônia destinada a fertilizantes no mesmo período (Figura 3) . Possui o maior parque instalado para produção da principal matéria prima para a indústria de fertilizantes, a amônia. A Fafen-Ba iniciou suas atividades em 1971. Na época, denominada Nitrofértil, começou a produzir fertilizantes nitrogenados a partir do gás natural da Bahia e do Sergipe. A escolha do local para a instalação foi devido à estrutura preexistente de instalações industriais e gasodutos. Foi uma das fábricas pioneiras do Polo de Camaçari. A Fafen-Se (Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados do Sergipe) entrou em operação em 1982, marcando um novo ciclo de desenvolvimento

no Sergipe. Iniciou suas atividades como Nitrofertil e hoje produz amônia, ureia (pecuária, agrícola e industrial), ácido nítrico, hidrogênio e gás carbônico. Segundo a Petrobras, a capacidade conjunta instalada é de 900.000 t/ ano de amônia e 1,1 Mt/ano de ureia (www.petrobras.com.br).

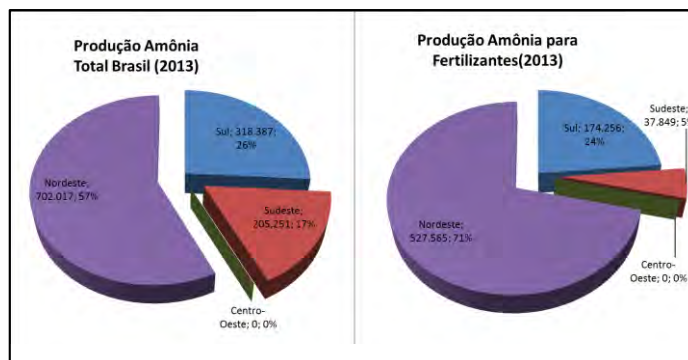


Figura 3 - Distribuição da produção de Amônia no Brasil – Adaptado de ANDA (2014)

Em 2002, a petroquímica UNIGEL entrou no mercado de fertilizantes com uma fábrica de sulfato de amônio, localizada em Candeias (Bahia), com capacidade produtiva de 200.000 t/ano. Em 2010, foi instalada uma nova unidade, dobrando a capacidade produtiva (www.unigel.com.br).

A região Sudeste conta com a produção de amônia da Vale Fertilizantes. Inaugurada em 1950 como Fafer, incorporada em 1977 pela Ultrafertil (sob controle da Petrobras), comprada em 1993 pela Fosfertil e finalmente, em 2010, adquirida pela Vale (www.fosfertil.com.br). Segundo a ANDA (2014), a Vale Fertilizantes possui capacidade instalada de 211.000 t/ano de amônia (Piaçaguera-SP), 84.797 t/ ano de sulfato de amônio (Cubatão-SP) e 410.000 t/ano de nitrato de amônio (Piaçaguera-SP). É a única produtora brasileira, desde 1950, de nitrato de amônio.

A região Sul conta com capacidade de produção de ureia (630.000 t/ano) e de amônia (410.000 t/ano). A Fafen-PR passou a reintegrar o sistema Petrobras em 2013. Segundo dados fornecidos pela própria Petrobras, a Fafen-PR hoje possui capacidade operacional de 700.000 t/ano de ureia e 475.000 t/ano de amônia.

Os fertilizantes nitrogenados intermediários mais importados no Brasil (em 2014) são ureia (4.401.397 ton), sulfato de amônio (1.837.134 ton) e nitrato de amônio (1.346.644 ton). O porto mais utilizado para a importação de fertilizantes foi o porto de Paranaguá, seguido do porto de Santos e do Porto de Rio Grande. Os principais exportadores de nitrogenados para o Brasil em 2014 foram, respectivamente: Rússia, Catar, Holanda, Kuwait, Bélgica, Estados Unidos, Omã, Emirados Árabes Unidos e China, respectivamente (MDIC,2015).

O consumo de fertilizantes nitrogenados no Brasil aumentou 374 % entre o período de 1990 e 2013 (ANDA, 2014). Para o consumo aparente de nitrogênio (em toneladas), foram feitas duas projeções a fim de verificar a tendência no consumo dos fertilizantes (linear e exponencial). A

projeção linear apresentou maior adequação aos dados do histórico e prevê o consumo de 4,3 milhões de toneladas (em N) em 2020 no Brasil.

3.2 Fertilizantes fosfatados

O Brasil produziu cerca de 5,3 milhões de toneladas de rocha fosfática - em 2012 e 2013 - destinadas à indústria de fertilizantes (ANDA, 2014). Em termos de P_2O_5 , este valor corresponde a 2,1 milhões de toneladas. Em base mássica (e também em base de P_2O_5), o fertilizante fosfatado mais produzido no Brasil é o SSP.

A produção brasileira de rocha fosfática é em sua maior parte dedicada à indústria de fertilizantes fosfatados, chegando a patamares próximos de 90 % (ANDA,2014). Verificou-se que toda a produção das regiões Sudeste e Nordeste é destinada a manufatura de fertilizantes. A produção do Centro-Oeste dedica 41 % da rocha fosfática aos fertilizantes.

O histórico de produção de rocha fosfática no Brasil é coerente com o histórico da indústria de fertilizantes. Percebe-se o ápice de produção na indústria de fosfatados no início dos anos 80 (Figura 4). A menor produção se deu em 1992, devido à fase de transição do mercado associada à mudança do perfil de capital na indústria de fertilizantes (saída do capital estatal). Havia muita incerteza no mercado e pouco se investiu (FARIAS, 2015).

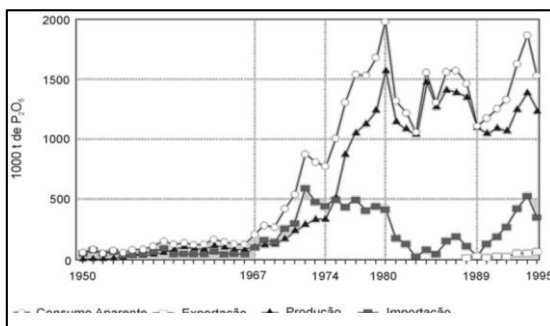


Figura 4 - Produção, consumo aparente e comércio exterior de rocha fosfática no Brasil de 1950 a 1995 – Fonte: Kulaif e Fernandes (2010).

Após este período, a indústria apresentou uma recuperação anual média de 3,94 %. A produção de ácido fosfórico, MAP e SSP acompanham o perfil de produção da rocha fosfática (Figura 5).

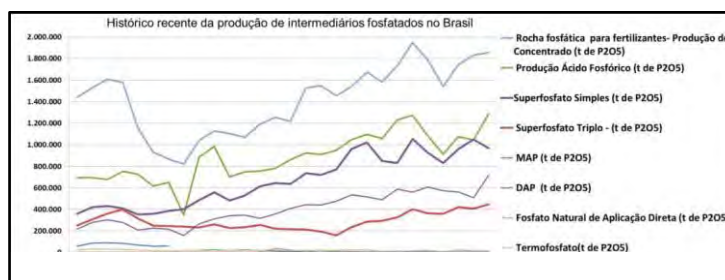


Figura 5 - Produção de fertilizantes fosfatados no Brasil - Adaptado de ANDA (2014).

Em 2013, a Região Nordeste foi responsável por 4 % da produção de rocha fosfática no Brasil. Em relação ao SSP, foi responsável por 14 % da produção Brasileira. Segundo Souza e Fonseca (2010), são importantes minas de produção de rocha fosfática na região Angico Dias e Irecê, no Estado da Bahia.

A Região Sudeste é responsável por 62 % da produção brasileira de rocha fosfática destinada à indústria de fertilizantes. Produziu cerca de 3,2 milhões de toneladas em 2013. É a principal produtora de MAP (86 %) do Brasil. Produziu cerca de 50% do SSP e 91% do TSP brasileiro no mesmo ano. Mesmo que em pequena quantidade, produz todos os termofosfatos do Brasil.

As minas mais importantes de Minas Gerais se encontram em Tapira, Araxá, Patos de Minas e Lagamar. A cidade de Uberaba possui importância significativa em processamento da rocha fosfática. Os municípios mineiros de Patrocínio e Serra do Salitre, apesar das reservas, ainda não produzem rocha fosfática. São Paulo destaca-se no processamento de fosfatos intermediários, apesar da pouca produção de rocha fosfática. Segundo MDIC (2015), 27 % da importação da rocha fosfática bruta entra no país pelo porto de Santos, região próxima às plantas da Vale de processamento de fosfato. A Região Sul não produz de maneira significativa a principal fonte de matéria prima para a indústria de fertilizantes fosfatados, a rocha fosfática. Todavia, produz 22 % da produção brasileira de SSP.

A Região Centro-Oeste não possui representatividade na indústria de fertilizantes nitrogenados. No entanto, a situação é diferente para a indústria de intermediários fosfatados. A região é responsável por 33 % da produção nacional de rocha fosfática, 14 % da produção de MAP, 14 % da produção de SSP e 7 % da produção de SSP. As principais minas em produção da região Centro-Oeste são Catalão (GO) e Arraias (TO). A importância da produção na região é acentuada devido à proximidade dos mercados consumidores de fertilizantes, como o MATOPIBA.

As principais reservas do Brasil de fosfato magmatogênico estão vinculadas a era Mesozóica. Destacam-se os depósitos de Tapira (MG), Araxá (MG), Catalão (I e II, TO) e Serra Negra/Salitre (I, II e III-MG) na Província Alcalina do Alto Parnaíba. Destacam-se Cajati (SP) e Ipanema (SP) na Província Alcalina da Serra do Mar, além do complexo de Anitápolis (SC). Depósitos magmáticos também ocorrem na Bahia, em Angico dos Dias. No norte, destaca-se o potencial depósito de Maicuru (PA) (CPRM, 2011). Os depósitos de Repartimentos (RR), Morro de Seis Lagos (AM) ainda permanecem em avaliação para o potencial de fosfatos. Dentre os depósitos sedimentares, destacam-se Arraias (TO), Irecê (BA) e Lagamar/Rocinha (MG).

O Brasil importou 5,4 milhões de toneladas de fertilizantes fosfatados em 2014, valor equivalente a 2,2 bilhões de dólares (MDIC, 2015). MAP é o líder de importação em massa (56 %) e em dólares (44 %). É um fertilizante muito importante, pois possui altos teores de P_2O_5 e também contém nitrogênio em sua composição. O DAP, segundo colocado em dólares (24 %), possui um teor um pouco menor de P_2O_5 , todavia apresenta maior teor de nitrogênio.

Os principais fornecedores de fosfatados para o Brasil são: Marrocos, Estados Unidos, Rússia, China, Egito, Israel, Arábia Saudita e Tunísia, respectivamente. Ainda, o Brasil importou 1,75 milhões de toneladas de rocha fosfática em 2014, valor correspondente a 188 milhões de dólares. A principal fonte de importação da rocha fosfática é o Peru (55 %), seguido do Marrocos (33 %). Ressalta-se que a importação peruana é proveniente da mina de Bayóvar, pertencente ao grupo Vale.

O consumo de fertilizantes fosfatados aumentou 291 % no período de 1990 a 2013. Para estimar o comportamento futuro do consumo aparente de P_2O_5 , foram realizadas projeções lineares e exponenciais. O modelo linear se adequou mais ao histórico. Percebe-se que, de acordo com as projeções, em 2020 o Brasil consumirá cerca de 5,3 milhões de toneladas de P_2O_5 .

A região que mais consome fosfatados é a região Centro-Oeste, chegando a 37 % do consumo nacional. Em segundo lugar, o Sul com 29 %. Estes dados ratificam a grande movimentação nos portos de Paranaguá e Rio Grande, pois a produção de rocha fosfática no Sul é nula. O Sudeste, responsável por 55 % da produção de rocha fosfática, apenas consome 18% do consumo nacional. De maneira geral, percebe-se que a única região com grande produção e grande consumo é a região Centro-Oeste.

3.3 Fertilizantes potássicos

Segundo a ANDA (2014), o Brasil produziu 492.152 toneladas de cloreto de potássio em 2013. A Região Nordeste é a única produtora deste intermediário potássico. É notória a discrepância entre a atenção que é dada à indústria de intermediários fosfatados e à indústria do potássio. O Brasil possui o solo tão deficiente em fósforo quanto em potássio (NASCIMENTO; LAPIDO-LOUREIRO, 2009). A dependência externa é muito maior para o potássio. O Brasil produz cerca de 6 milhões de toneladas ao ano de rocha fosfática (produção total), e a produção de potássio é menor do que 10% desta produção.

O Brasil possui uma única mina em operação, Taquari-Vassouras. Toda a produção é dedicada ao mercado interno e a capacidade instalada da planta é de 645.000 t/ano (www.valefertilizantes.com). O Canadá, maior produtor e exportador do mundo, possui 12 minas.

Em Sergipe, os depósitos de Taquari-Vassouras foram descobertos em 1963, pela Petrobras, ao realizar prospecção de petróleo na região. São compostos por silvita e carnalita. O projeto de implantação da mina se deu em 1979, com início de operação em 1985 pela Petrobras Mineração SA. Pertenceu à Petrobras até 1991, quando foi adquirida pela Vale (MONTE et al., 2012).

Ainda, em Sergipe as reservas oficiais totalizam 478 milhões de toneladas, com teor médio de 9,7 % de K_2O . Destas, há 68,2 milhões de minérios in situ com 19,0 % de teor de K_2O . Estes representam a reserva lavrável em Taquari- Vassouras. Ainda em Sergipe, são conhecidos outros depósitos de Carnalita, que apresentam no total 14,4 bilhões de toneladas, com teor 6,0 % de K_2O . Já há projetos em andamento a fim de viabilizar a exploração desta carnalita (BRASIL¹, 2015).

Os depósitos de potássio na Amazônia foram descobertos em 1955 pela Petrobras. As camadas de sal gema estão associadas à sequência de evaporitos do Paleozóico Superior, na região de Nova Olinda. Após, foram descobertas novas reservas nas regiões dos Tapajós, de Nhamundá-Trobetas e Nova Olinda-Maués. O depósito de Nova Olinda é formado por sedimentos evaporíticos-químicos localizados na parte superior do Carbonífero da Bacia do Amazonas. Nessa região há horizontes de sal gema, sais de potássio, gipsita, anidrita e calcário (NASCIMENTO; LAPIDO-LOUREIRO, 2009). Nas localidades de Fazendinha e Arari, região de Nova Olinda, as reservas oficiais de silvinita são da ordem de 493 milhões de toneladas, com teor médio de 20,0 % de K_2O (BRASIL¹, 2015).

Em 2009, a Potássio do Brasil (Brazil Potash) descobriu reservas próximas às da Petrobras. A jazida está a 841 metros de profundidade e tem teor de 19 % de K_2O (new.d24am.com). Segundo Brazil Potash (2015), a reserva de Autazes possui as mesmas características geológicas, assim como a mesma idade da principal bacia de potássio do mundo: Saskatchewan, no Canadá. Estima-se que reserva possui 425 milhões de toneladas.

O Brasil importou em 2014 cerca de 9 milhões de toneladas de cloreto de potássio, valor equivalente a U\$ 2,9 bilhões negativos na balança comercial brasileira. A importação de fertilizantes potássicos ocorre via Porto de Paranaguá (39 %), Santos (13 %), Rio Grande (13 %) e Vitória (10 %). O preço do cloreto de potássio caiu 35 % no período de 2012-2014. Após a quebra do cartel entre Rússia e Bielorrússia, o preço se manteve efetivamente mais barato na Rússia, detentora do menor preço de exportação para o Brasil (FARIAS, 2015).

O consumo de fertilizantes potássicos se elevou de 1,2 milhões de toneladas (em termos de K_2O) em 1990 para 5,1 milhões em 2013, totalizando um aumento de 325 %. Foram realizadas

projeções lineares e exponenciais para modelar o consumo brasileiro de potássio, e o modelo linear se adequou melhor ao histórico 1990-2013. De acordo com o modelo linear, prevê-se que o Brasil consumirá 6 milhões de toneladas de potássicos em 2020.

4. Conclusão

Apesar de apresentar crescimento maior (em faturamento) do que a indústria química nos últimos anos, a indústria de fertilizantes ainda representa um déficit de enorme proporção na balança comercial brasileira. Políticas governamentais devem ser intensificadas a fim de aumentar nossa produção. A competitividade deve ser estimulada. O Brasil, país potencialmente agrícola, seguirá expandindo sua produção nos próximos anos e, se novos projetos não entrarem em operação, o déficit na economia brasileira tenderá a aumentar.

Estudos de construção de cenários estão sendo desenvolvidos para um esclarecimento maior do comportamento deste setor estratégico da indústria, a curto e médio prazo.

5. Bibliografia

- ABIQUIM. Anuário da Indústria Química Brasileira 2013. São Paulo - SP: ABIQUIM, 2014.
- Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA). Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes 2013. São Paulo: ANDA, 2014.
- BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Ministério de Minas e Energia. Sumário Mineral 2014. Brasília: DNPM, 2015.
- BRAZIL POTASH. Developing a World Class eh Basin: Investor Presentation. Belo Horizonte: Brazil Potash, 2015.
- CPRM. Projeto Fosfato Brasil: Parte 1. Rio de Janeiro: CPRM/MME, 2011.
- FARIAS, Pedro Igor Veillard. Aspectos Técnicos e Econômicos da indústria de fertilizantes NPK no Brasil. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2015.
- KULAIF, Yara; FERNANDES, Francisco Rego Chaves. Panorama dos agrominerais no Brasil: Atualidades e perspectivas. In: FERNANDES, Francisco Rego Chaves; LUZ, Adão Benvindo da; CASTILHOS, Zuleica Carmem (Ed.). Agrominerais para o Brasil. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. p. 1-21.
- LINS, Fernando Freitas. Estudo prospectivo de Agrominerais na produção de biocombustíveis líquidos: Apresentação dos resultados do GT- Fertilizantes. Brasília: CETEM/MCT, 2009.
- MDIC. Dados do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior disponibilizados através do portal <http://aliceweb.mdic.gov.br/>. 2015.
- MONTE, Marisa Bezerra de Mello et al. Cloreto de potássio: Mina de Taquari-Vassouras - CVRD. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002.
- NASCIMENTO, Marisa; LAPIDO-LOUREIRO, Francisco Eduardo de V. Fertilizantes e Sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas. In: LAPIDO-LOUREIRO, Francisco Eduardo de V.; MELAMED, Ricardo; FIGUEIREDO NETO, Jackson de (Org.). Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009.



**IV Simpósio de Minerais
Industriais do Nordeste**

10 a 13 de abril / 2016
João Pessoa - PB

TRABALHOS APRESENTADOS EM PÔSTER

CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS, TEXTURAIS E QUÍMICAS DOS METACALCÁRIOS DO COMPLEXO ARATICUM, REGIÃO DE BATALHA-AL

Haroldo Monteiro Lima¹, Lauro César Montefalco de Lira Santos², Valdevez Pinto Ferreira³ Roberto Lucio Belo de Souza Junior⁴

¹ Doutorando em Geologia Regional, UnB

² Professor de Geologia, UFCG

³ Professora de Geologia, UFPE

⁴ Graduando em Geologia, UFPE

haroldogeologo@gmail.com

RESUMO

O complexo Araticum, no contexto tectonoestratigráfico, compreende uma faixa metavulcanossedimentar, inserida no domínio Macururé, faixa Sergipana, Província Borborema. Essa faixa, localiza-se ao sul do domínio tectônico Pernambuco-Alagoas, sendo interpretada como uma região orogênica neoproterozóica. Nas proximidades do município de Batalha (Alagoas), o complexo Araticum é dominado por rochas como biotita xistos, granada paragnaises, *sheets* de leucogranitoides peraluminosos, lentes de anfibolito, lentes de rochas calcissilicáticas e lentes de metacalcário. Os metacalcários representam o principal bem mineral industrial da região, sendo explorados pela empresa Mineração Barreto S/A (MIBASA), responsável por distribuir calcário e brita para diversas regiões do estado de Alagoas. Em amostra de mão, os metacalcários apresentam textura granular, estrutura predominantemente maciça e, às vezes, levemente foliada nas zonas de cisalhamento. Em seção delgada, a mineralogia é marcada por dolomita e calcita recristalizada, observando contatos poligonais entre os grãos. No interstício intergranular, é notável a presença de filossilicatos constituindo menos de 2% de análise modal. Análise litoquímica das rochas revelaram as seguintes médias nos teores dos principais elementos: teores de magnésio (13,2%), alumínio (1%), cálcio (36,73%), sílica (8,23%) e ferro (1%). Um mapeamento extensivo está sendo realizado nos corpos de metacalcários para entender melhor seu processo de alocação e continuidade na sequência metavulcanossedimentar do complexo Araticum.

PALAVRAS-CHAVE: Metacalcário, Complexo Araticum, Faixa Sergipana.

ABSTRACT

The Araticum complex in a tectonostratigraphic context, comprises a metavolcanosedimentary belt, inserted in Macururé domain of the Sergipana belt, Borborema Province. This belt is located south of the tectonic domain Pernambuco, Alagoas, being interpreted as a Neoproterozoic orogenic region. Nearby Batalha city (Alagoas), the Araticum Complex is dominated by rocks as biotite schist, garnet bearing paragneiss, sheets of peraluminous leucogranitoides, amphibolite lenses, lens calcissilicatic rocks and metacalcário lenses. The limestones are the main industrial mineral and the region being explored by the company Mineração Barreto S / A (MIBASA), responsible for distributing limestone and gravel for various regions of the state of Alagoas. In hand sample, the metalimestones exhibit granular texture, predominantly solid structure, and eventually, slightly foliated by the shear zones. In thin section, the mineralogy is marked by dolomite and recrystallized calcite, with polygonal contacts between the grains. In intergranular interstitium, is marked by presence of phyllosilicates constituting less than 2% of modal analysis. Litochemistry analysis revealed the presence of main elements: magnesium (13.2%), aluminum (1%), calcium (36.73%), silica (8.23%) and iron (1%). An extensive mapping is being carried out on the bodies of metalimestones to better understand the process of allocation and continuity in metavolcanosedimentary sequence the Araticum complex.

KEYWORDS: Metalimestone, Araticum Complex, Sergipana Belt.

1. INTRODUÇÃO

Os calcários são rochas constituídas por carbonato de Cálcio (CaCO_3) e carbonato de magnésio (MgCO_3) e dependendo do óxido de magnésio (MgO), podem ser classificadas em calcário calcítico (< 5%), calcário magnesiano (5%-12%) e dolomítico (>12%). A sequência metavolcanosedimentar, denominada de complexo Araticum (Figura 01), ocorre no mapa como uma faixa sinuosa modelada pelas zonas de cisalhamentos contracionais de Jacaré dos Homens e Belo Monte-Jeremoabo (Mendes *et. al.*, 2009a; Mendes *et. al.*, 2009b; Brito e Mendes, 2011). Essas rochas apresentam-se polideformadas e com caráter estrutural complexo, cuja caracterização é

dificultada devido ao alto grau de intemperismo químico da região. No complexo Araticum ocorrem, predominantemente, metassedimentos como granada biotita xistos, granada paragneisses, calcissilicáticas, quartzitos e metagrauvacas associados com as metavulcânicas representadas por lentes de ortoanfibolitos. Nessa região, ainda ocorrem, a presença de *sheets* de leucogranitos de caráter aluminoso (Brito *et.al.* 2007) resultantes dos eventos sincolisionais. Os metacalcários, cartograficamente, ocorrem como lentes alongadas e disseminadas em toda sequência metavulcanossedimentar, acompanhando as principais zonas de cisalhamento de caráter transpressivo (Figura 01).

1.1 Aspectos de Campo e Petrografia

Em campo, os metacalcários, são concordantes com as estruturas da sequência metavulcanossedimentar. Na região NE da área, verificou-se pequenas lentes subordinadas de rochas calcissilicáticas, resultante da reação química de descarbonatação, associadas às rochas metassedimentares. As lentes de metacalcários apresentam espessura variando entre 50 a 100m e constituem-se em corpos tabulares alongados preferencialmente na direção ENE-WSW (Figura 2-A). Os metacalcários apresentam coloração branca a creme, granulação grossa, aspecto homogêneo, textura granoblástica, podendo apresentar muscovita e estrutura maciça a levemente foliada em algumas regiões de intensa deformação (Figura 2-B). Em seção delgada, apresentam granulação equigranular (poligonal) e textura granoblástica. Mineralogicamente são compostas por 98% de carbonatos e 2% de filossilicatos (micas). Os filossilicatos ocorrem entre os grãos de calcita e, em algumas amostras, mostram-se orientados configurando uma leve foliação.

2. LITOGEOQUÍMICA

Os metacalcários da região apresentam elevados teores de MgO (Teor > 12%) sendo caracterizados como dolomíticos e, são explorados pela Mineração Barreto S/A (MIBASA) para a indústria agrícola. As análises químicas foram realizadas em cinco amostras de metacalcário no laboratório de Fluorescência de raios-X (NEG-LABISE-UFPE, Departamento de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco), usando um espectrômetro de fluorescência de raios X Rigaku modelo RIX 3000, equipado com tubo Rh e 6 cristais analisadores, onde foram dosados os elementos maiores (expressos na forma de óxidos %). As análises indicaram teores médios de

SiO₂(8,23%), Al₂O₃(1%), MgO (13,2%), MnO (0,06%), CaO (36,73%), Na₂O (0,05%), K₂O (0,02%), TiO (0,05%), P₂O₅(0,02%), Fe₂O₃(1 %).

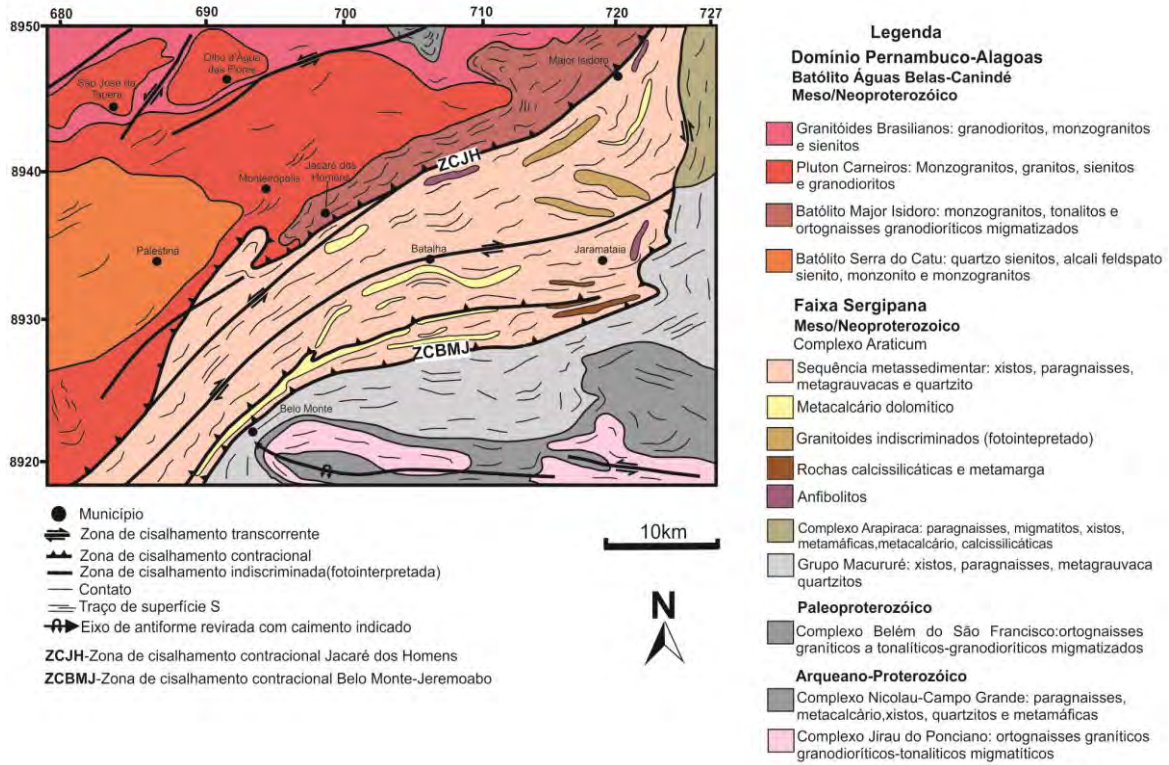


Figura 1 – Mapa geológico do Complexo Araticum, exibindo as lentes de metacalcário dolomítico (em amarelo) acompanhando as principais zonas de cisalhamento da região.

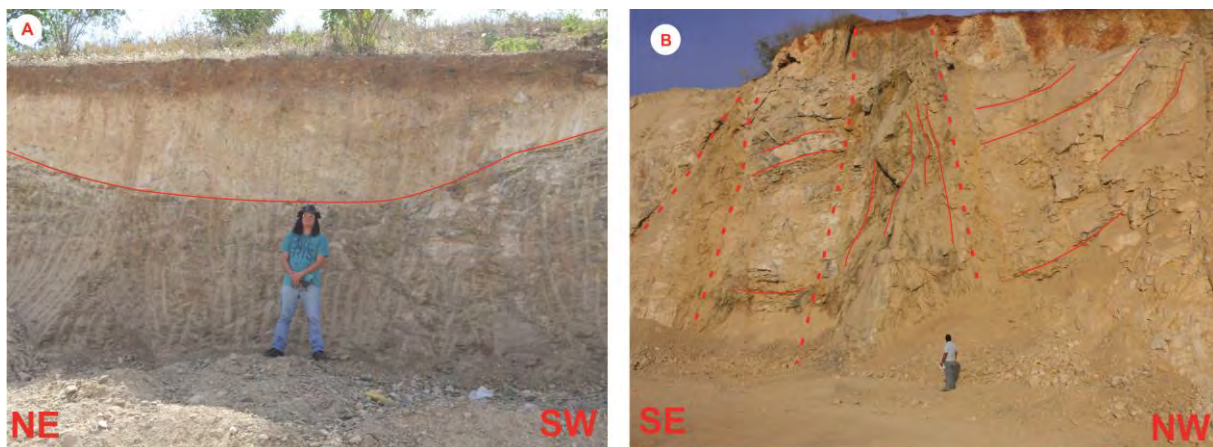


Figura 2 – Aspectos de campo das lentes de metacalcário. (A) contato do metacalcário com xistos alterados para solo, complexo Araticum (linha vermelha contínua). (B) Lente de metacalcário deformada e com foliação de alto ângulo (linha vermelha tracejada) devido a ação da zona de cisalhamento transcorrente.

3. CONCLUSÃO

Os metacalcários do complexo Araticum, na região de Batalha (AL), compreendem um importante bem industrial do estado de Alagoas. A composição química dessas rochas em torno de 13,2% de sílica, favorece a utilização como calcário agrícola na correção do PH do solo e, a compactação da rocha, de modo geral. aspectos estruturais e texturais, permitem sua britagem para obras de construção. Essas rochas são exploradas pela Mineração Barreto S/A (MIBASA), empresa que se destaca pela exploração, refino e distribuição em todo o estado de Alagoas.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRITO M.F.L., MENDES V.A., PAIVA I.P., WANDERLEY A.A., MEDEIROS V.C. Aspectos de Campo Petrográficos das rochas metassedimentares do Complexo Araticum, Domínio Canindé, Natal, Sistema de Dobramentos Sergipano. In: **SBG, Simpósio de Geologia do Nordeste** Boletim, 2 (2007), p 192.

Simpósio

BRITO, M. F. L, MENDES, V. A. Compartimentação Tectônica da Folha Arapiraca. In: **Nacional de Estudos Tectônicos**, Mato Grosso, 2011.

MENDES, V. A; BRITO, M. F. L.; SANTOS, C. A. Zona de Cisalhamento Contracional de Campo de Índios. Um possível Testemunho do Evento Cariris Velhos na Província Borborema. In: **Simpósio de Geotectônica**, São Paulo, 2009b.

MENDES, V.A., BRITO, M.F.L., PAIVA, I.P. Folha Arapiraca (SC.24-X-D, escala 1:250,000), Integration Geological (Geologic map). **Brazilian Geological Survey** (CPRM), Recife 2009a.

COMPARTIMENTAÇÃO ESTRUTURAL DOS PEGMATITOS ALTO DO FEIO E ALTO DA SERRA BRANCA, REGIÃO DE PEDRA LAVRADA (PARAÍBA)

*Lauro César M. De Lira Santos*¹, *Fabício F. Vieira*², *Vandrielle A. Genuíno*³,

*Emerson Diego G. Sales*⁴

¹ Professor Assistente, UFCG

² Estudante de Pós Graduação, UFCG

³ Estudante de graduação, UFCG

⁴ Estudante de graduação, UFCG

lauromontefalco@gmail.com

RESUMO

A região de Pedra Lavrada (PB) está inserida Província Pegmatítica do Seridó, um importante distrito mineiro no nordeste do Brasil. Mapeamento geológico revelou que esta região é formada por biotita xistos e granada-biotita xistos da Formação Seridó, os quais são intrudidos por granitos Ediacaranos e pelos pegmatitos Alto do Feio e Alto Serra Branca. Análise geométrica e cinemática mesoscópica, revelou que esta área foi submetida a uma trama poli-deformacional, materializadas pelas tectônicas D_n , D_{n+1} , D_{n+2} e D_{n+3} . As três primeiras possuem reologia dúctil, sendo a primeira relacionada a uma tectônica reliquiar, onde os planos de foliação fortemente transpostos pelas tectônicas posteriores. D_{n+1} produz superfícies de foliação milonítica de transposição relacionadas a tectonitos tangenciais restritos às adjacências de Nova Palmeira, enquanto que D_{n+2} é principalmente associada a tectonitos verticais, os quais representam a principal estruturação da região. Esta última deformação é caracterizada por deformação com forte componente não coaxial materializado nas zonas de cisalhamento de Nova Palmeira e Picuí João Câmara de cinemática transcorrente dextral. Por último, a tectônica D_{n+3} possui caráter dúctil-rúptil e rúptil tendo como principais elementos fraturas e juntas que podem ser ou não preenchidas por pegmatitos e aplitos nas direções NNW-SSE e E-W. Mapeamento de detalhe, revelou que estes pegmatitos possuem zoneamento mineral bem definido característico de pegmatitos heterogêneos e são condicionados pelo *trend* principal na direção NE-SW. A combinação destes dados indica que esses pegmatitos teriam se alojado na crosta continental por meio de um regime

transtrativo relacionado às zonas de cisalhamento de Pedra Lavrada e Picuí-João Câmara, resultado da interação entre os eventos D_{n+2} e D_{n+3} . Os dados obtidos podem contribuir significativamente para estudos prospectivos em outros corpos pegmatíticos da região.

PALAVRAS-CHAVE: Província Pegmatítica do Seridó, Alto do Feio, Alto Serra Branca.

ABSTRACT

The Pedra Lavrada (PB) region is inserted in the Seridó Pegmatitic Province, an important mining district in northeast Brazil. Geological mapping revealed that this region is composed by biotite schists and garnet-biotite schists of the Seridó Formation, which is intruded by Ediacaran granites and the Alto do Feio and Serra Branca pegmatites. Kinematic and geometric analysis revealed that this area was subjected to poly-deformation including the D_n , D_{n+1} , D_{n+2} and D_{n+3} deformation phases. D_n , D_{n+1} and D_{n+2} has a ductile character, with the former related to a relic tectonics with foliation planes being strongly obliterated by later deformation stages. D_{n+1} is characterized by gentle-dipping mylonitic foliation that is related to tangential tectonites in the vicinity of Nova Palmeira Town, whereas D_{n+2} is associated to vertical tectonites, that correspond to the main structural fabrics of the region. This latter is characterized by a strong Non-coaxial deformation related to the Nova Palmeira and Picuí João Câmara dextral transcurrent shear zones. At last, D_{n+3} tectonics has a ruptile-ductile and ruptile character, marked by fractures and joints that might be filled by aplitic and pegmatitic rocks in the NNW-SSE and E-W directions. In addition, detailed geological mapping has revealed a conspicuous and characteristic mineral zoning in the NE-SW heterogeneous Alto do Feio and Alto Serra Branca pegmatites. These dated allowed us to conclude that these pegmatitic bodies was emplaced in the continental crust through a transtensive regime which is related to the Pedra Lavrada and Picuí-João Câmara shear zones through D_{n+2} and D_{n+3} deformation.

KEYWORDS: Seridó Pegmatitic Province, Alto do Feio, Alto Serra Branca.

INTRODUÇÃO

A região que compreende o Seridó nordestino concentra quantidade expressiva de pegmatitos, cuja vocação econômica é conhecida e aproveitada desde a segunda guerra mundial, bem como diversos corpos graníticos associados (Santos & Ferreira, 2000; Santos et al. 2002; 2014). Além da presença de minerais portadores de metais nobres, tais como tantalita e columbita, esta região é privilegiada por produzir uma parcela considerável dos principais minerais industriais brasileiros. Alguns exemplos dessas *commodities* são quartzo, feldspato e mica branca, além de gemas de alto valor comercial, incluindo águas marinhas e a famosa turmalina Paraíba.

Geologicamente, estas mineralizações concentram-se na chamada Província Pegmatítica do Seridó (PPS), denominação empregada por Santos et al. (2014) para o distrito mineiro que ocorre na divisa dos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, o qual concentra a maior quantidade de pegmatitos no Nordeste do Brasil.

Existe ainda relativa carência de trabalhos que foquem a evolução estrutural de detalhe de alguns desses corpos pegmatíticos, suas relações com as rochas encaixantes e granitos associados, bem como uma definição mais precisa das principais zonas mineralizadas de alguns destes corpos. Neste sentido, o principal objetivo deste artigo é apresentar as principais relações e estilos estruturais presentes nos pegmatitos Alto do Feio e Alto da Serra Branca (região de Pedra Lavrada, PB), bem como as principais relações desses corpos com as rochas encaixantes e estruturas regionais. Adicionalmente, apresenta-se mapas geológicos de semidetalhe e de detalhe da região edessas intrusões com ênfase nas principais zonas de ocorrências de minerais e as principais estruturas associadas, buscando contribuir para futuros trabalhos prospectivos na região.

ANÁLISE ESTRUTURAL

Por meio de estudos de campo, análise de fotografias aéreas e imagens de satélite *Landsat*, identificamos que os pegmatitos Alto do Feio e Alto Serra Branca, bem como outros corpos pegmatíticos da porção sul da PPS, possuem um forte controle estrutural, com destaque para as zonas de cisalhamento brasileiras de direção NNE-SSW que definem o *trend* predominante. Inegável ainda é a influência do Lineamento Patos de direção E-W que ocorre ao sul e fortemente a porção sul do Domínio Rio Grande do Norte, tal como demonstra Archanjo et al. (2008). A

geologia da área de estudo (Figura 1) é formada principalmente por rochas supracrustais da Formação Seridó e granitos Ediacaranos, alinhados na direção NE-SW, além dos pegmatitos estudados, que ocorrem nas adjacências destes últimos. Completando este quadro, tanto os corpos pegmatíticos, quanto suas rochas encaixantes são cortadas por diversos diques pegmatíticos estéreis e tardios, que são comumente ortogonais à foliação regional.

Apesar da complexidade estrutural observada, por meio de análise mesoscópica e mapeamento de semi-detalle, foi possível identificar quatro tramas distintas de deformação, aqui hierarquizadas na seqüência D_n , D_{n+1} , D_{n+2} , e D_{n+3} sendo as três primeiras de caráter dúctil, representadas por superfícies de foliação e xistosidade bem desenvolvidas (principalmente D_{n+2}), e a última por uma tectônica rúptil, a qual é caracterizada por diques de pegmatitos e aplitos que ocorrem preenchendo fraturas que cortam de maneira discordante ou não a foliação regional (Figura 2). Adicionalmente, a trama estrutural principal é marcada por um corredor de cisalhamento localizado entre zonas de cisalhamento de Pedra Lavrada e Picuí-João Câmara. Estas estruturas provocam sinuosidade na foliação regional, produzindo sigmoides regionais e alinhamento dos corpos pegmatíticos e graníticos ao longo da direção NE-SW.

A trama mais antiga (D_n) é representada principalmente por foliações sinuosas S_n em gnaisses migmatizados do Complexo Serrinha Pedro Velho e foliações reliquiares da Formação Seridó. Esta deformação pode ser correlacionada com Em função forte transposição estabelecida por foliações posteriores, a natureza desta deformação é ainda pouco conhecida. Por outro lado, a deformação D_{n+1} possui elementos estruturais bem materializados na porção NE da área, sendo definida por uma série de superfícies de xistosidade e foliações miloníticas com baixo ângulo de mergulho, sempre associadas à lineação de média a alta obliquidade. É comum se observar a leste do município de Nova Palmeira, planos de foliação com mergulho entre 6 e 12° em média para a direção ESE. Outras estruturas associadas incluem dobras abertas e fechadas de geração F_{n+1} , sempre com plano axial vertical a sub-vertical, ou pequenas dobras reviradas. Indicadores cinemáticos observados em cortes correspondentes ao plano XZ do elipsoide de deformação são representados principalmente por micas dobradas assimetricamente e porfiroblastos de quartzo e feldspatos do tipo σ , que são observados em afloramentos escassos de xistos e tectonitos do tipo S-L, indicando sempre vergência tectônica *up-dip* (em geral) preferencial para WNW.

A deformação D_{n+2} corresponde ao regime mais importante, sendo responsável pela estruturação predominante na região. Esta trama determina o formato alongado de corpos graníticos e pegmatíticos, orientando esses litotipos na direção da trama principal NNE de

tectonitos preferencialmente planares (tipo S-L). As principais características relacionadas a esta deformação incluem diversos planos de xistosidade e bandamento gnáissico (S_{n+2}) sub-verticais a verticais, com mergulhos que variam entre 85 e 90°. Essa deformação em alguns afloramentos é responsável pelo dobramento de superfícies de foliação com baixo ângulo de mergulho correspondentes a S_{n+1} produzindo dobras isoclinais, fechadas e abertas de geração F_{n+2} , por vezes com plano axial verticalizado. Entretanto, o tipo mais freqüente que representa F_{n+2} é materializado sinformes fechadas ou com o desenvolvimento de superfícies axiais discretamente inclinadas ou invertidas e por lineações minerais de eixo b (L_{n+2b}).

Associado a estes planos o comportamento preferencial das lineações de estiramento mineral, as quais são formadas por discretos filetes de quartzo e biotita varia de sub-horizontal a horizontal. As principais estruturas correspondentes a esta deformação são as zonas de cisalhamento de rejeito direcional Pedra Lavrada e Picuí-João Câmara, caracterizadas por cinemática dextral. Do ponto de vista regional, esta última é particularmente importante, pois coloca em contato os xistos da Formação Seridó com ortognaisses e migmatitos do Complexo Serrinha Pedro Velho do Terreno Rio Piranhas ou Domínio Rio Piranhas-Seridó. Apesar de possuir um forte componente de rejeito direcional na área de estudo, esta estrutura de caráter assume para norte, um regime transpressional ou puramente contracional em alguns trechos, possivelmente representando um empurrão D_n , retomado pela deformação vertical de D_{n+1} .

Os principais litotipos associados a esta deformação correspondem à biotita xistos ou biotita milonitos, os quais são caracterizados por variados critérios cinemáticos, tais como porfiroclastos rotacionados e estruturas S-C, que são facilmente observados em cortes paralelos ao plano XZ do elipsoide, sendo consequência de um regime de deformação tipicamente não coaxial dextral. Adicionalmente, as duas estruturas supracitadas cortam quase toda área de estudo, sendo conectadas com o lineamento Patos ao sul, o que indica que devem fazer parte do mesmo regime estrutural, relacionado à orogenia Brasileira, como já identificado por diversos autores (Santos e Ferreira, 2000 e referências ali contidas).

A última fase deformacional (D_{n+3}) observada é marcada por uma mudança no regime reológico, onde predominam estruturas dúcteis-rúpteis ou puramente rúpteis, representadas principalmente por fraturas verticais, sub-verticais e horizontais. Estas estruturas ocorrem preferencialmente nas direções NNW-SSE, E-W e NE-SW, entretanto, existe uma predominância numérica de fraturas e juntas que são discordantes com relação S_{n+2} (foliação principal). Estas discontinuidades cortam os xistos da Formação Seridó e os corpos pegmatíticos, porém são

extremamente abundantes nos pegmatitos Alto do Feio e Alto da Serra Branca, controlando inclusive a presença de regiões mineralizadas em cassiterita e turmalina. Por outro lado, esta deformação é ainda caracterizada pela injeção de diversos veios e diques aplíticos e pegmatíticos tardios e estéreis que normalmente são discordantes e posteriores a D_{n+2} .

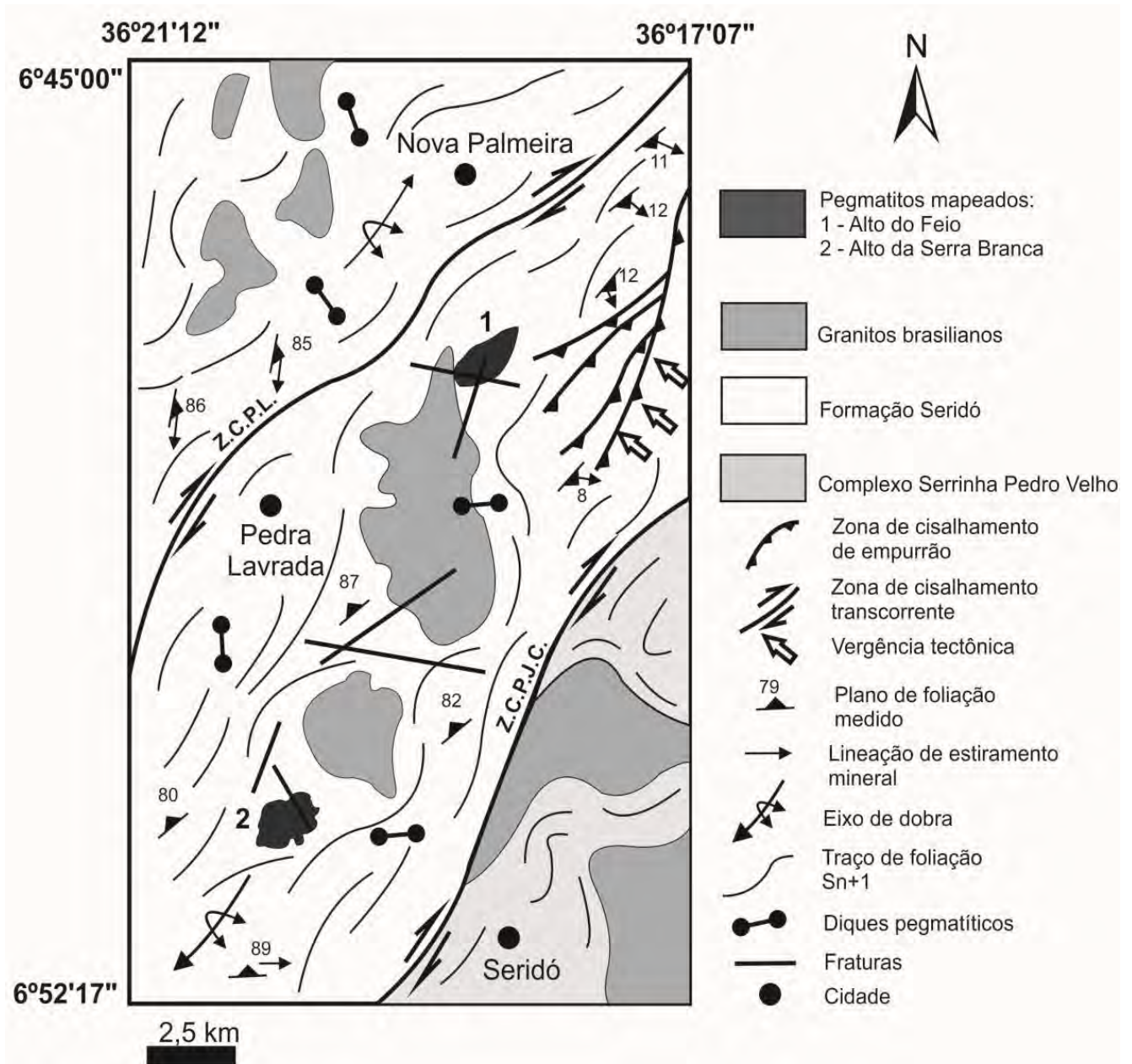


Figura 1 - Mapa geológico da área de estudo.

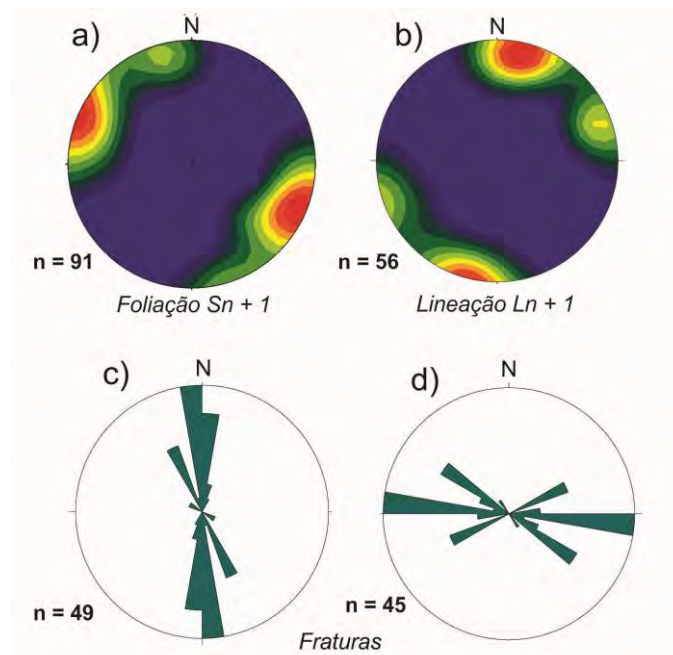


Figura 2 - Estereograma com medidas (n) das atitudes de foliação regional associadas aos planos S_{n+1} (relacionadas à tectônica predominante na área - D_{n+1}); b) Medidas de lineação de estiramento mineral L_{n+1} associadas ao regime transcorrente D_{n+1} ; c) e d) Medidas das principais fraturas preenchidas por diques de pegmatitos que cortam os xistos da Formação Seridó.

DISCUSSÕES

A presente pesquisa revelou que a região que compreende as adjacências do município de Pedra Lavrada é hospedeira de corpos pegmatíticos importantes, tais como os pegmatitos Alto do Feio e Alto Serra Branca. Estes corpos encontram-se encaixados em biotita xistos e granada-biotita xistos da Formação Seridó e estão geograficamente associados a intrusões graníticas ediacaranas. Esta região é afetada fortemente por tectônica dúctil, sendo a fase mais antiga denominada de D_n , representada por relictos de uma foliação pretérita, a qual é fortemente transposta pela fase D_{n+1} que é caracterizada por tectonitos contracionais que ocorrem nas proximidades do município de Nova Palmeira, os quais devem estar relacionados a uma fase de baixo ângulo da zona de cisalhamento Picuí-João Câmara que predomina a norte da área de estudo. Estes tectonitos possuem mergulho preferencial para SE e lineação de estiramento mineral de alta obliquidade, o que associado com critérios cinemáticos indica transporte tectônico principal para NNW. Os principais marcadores estruturais nos permitiu a correlação de D_{n+1} com fases de empurrão e retro-empurrão regionais relacionadas a fases de escape lateral definidas por Hackspacher et al. (1997) que afetaram metapelitos da Faixa Seridó durante a orogenia Brasileira.

Por outro lado, a deformação predominante na região é representada por corredores miloníticos de direção NE-SW, os quais são representados por milonitos com planos de foliação subverticais a verticais com mergulho ora para SE, ora para NW, sempre associados à lineação horizontal ou sub-horizontal, com *rakes* tipicamente baixos. Esta deformação corresponde a fase tipicamente não coaxial D_{n+2} , tendo suas principais estruturas associadas as zonas de cisalhamento Picuí-João Câmara (destral) que coloca em contato tectônico a Formação Seridó com os ortognaisses e migmatitos do Complexo Serrinha-Pedro Velho e a zona de cisalhamento de Pedra Lavrada (destral) que corta os xistos na porção W da área de estudo. Esta tectônica, que é dominada por uma foliação S_{n+2} transcorrente, e é responsável pela forma e orientação das rochas que ocorrem na região incluindo as rochas supracrustais encaixantes, granitos Ediacaranos e os corpos pegmatíticos.

Por fim, a última fase de deformação identificada (D_{n+3}) é marcada por uma mudança no regime deformacional de dúctil para rúptil-dúctil, seguidas de fases puramente rúpteis. Associados a estes estágios, regionalmente ocorrem fraturas de direções N-S e E-W, as quais podem ser preenchidas por pegmatitos estéreis que cortam os xistos encaixantes ou deslocam essas estruturas preenchidas, além de cortarem os corpos pegmatíticos e serem responsáveis pela irregularidade de suas formas.

Em escala de detalhe, é possível identificar a forte influência das fases D_{n+2} e D_{n+3} nos pegmatitos Alto do Feio e Alto da Serra Branca. A primeira afeta principalmente as zonas de bordas desses corpos, orientando principalmente as rochas encaixantes e suas formas alongadas na direção NE-SW. Por outro lado, a deformação D_{n+3} é singularmente importante, pois além de cortar todas as zonas dos corpos pegmatíticos, pode, em alguns casos, controlar veios e diques mineralizados, como veios aplíticos e pegmatíticos ricos em minerais importantes, tais como cassiterita e turmalina elbaíta. Por fim, ocorrem vários de pegmatitos normalmente discordantes com a foliação regional, sendo normalmente são estéreis com relação a mineralizações importantes.

O forte controle estrutural dos pegmatitos da PPS foi demonstrado por Agrawal (1992), agrupando-os em duas suítes cronologicamente distintas. A mais antiga, corresponderia a pegmatitos intensamente deformados relacionados a fases de dobramentos regionais, definidas por este autor como F_1 , F_2 e F_3 , e uma suíte mais jovem posterior a esta cinemática, ou seja, com uma trama deformacional incipiente ou inexistente. Por outro lado, Jardim de Sá (1994) hierarquizou com detalhe os eventos poli-deformacionais da Faixa Seridó, que conseqüentemente

influenciariam fortemente a geração desses corpos pegmatíticos. Este trabalho foi complementado por Araújo et al. (2001), cuja análise geométrica e cinemática definiu ambientes estruturais distintos para os pegmatitos da região. De acordo com estes autores, os pegmatitos da PPS poderiam ser agrupados em: i) pegmatitos homogêneos, os quais teriam sido injetados ao longo de descontinuidades estruturais, tais como superfícies de foliação e xistosidade e ii) pegmatitos heterogêneos, os quais teriam intrudidos ao longo de estruturas dilatacionais, desenvolvidas em um evento tardi cinemático. Tendo em vista que os pegmatitos estudados correspondem a variedades heterogêneas, influenciadas principalmente pelas tectônicas D_{n+2} , e D_{n+2} , sugerimos que estes foram alojados ao longo de estruturas dilatacionais locais, as quais seriam coevas à transcorrência das zonas de cisalhamento de Pedra Lavrada e Picuí-João Câmara, indicando que área de estudo, essas estruturas assumiriam um caráter preferencialmente transtrativo, correspondendo ao segundo grupo de pegmatitos definidos por Araújo et al. (2001).

CONCLUSÕES

A presente pesquisa revelou os seguintes resultados:

- i) A região que compreende as adjacências de Pedra Lavrada é fortemente controlada por estruturas regionais, tais como as zonas de cisalhamento Picuí-João Câmara e Pedra Lavrada e o lineamento Patos que representa uma mega estrutura que ocorre ao sul da área estudada;
- ii) Esta área possui evolução estrutural poli-deformacional, registrada por quatro fases de principais: a) Fase D_n - Representada por superfícies foliações sinuosas reliquias fortemente transpostas pelas fases subseqüentes, b) D_{n+1} - Representada por tectonitos com baixo ângulo de mergulho para ESE, associados à lineação de alto *rake* e transporte tectônico para NW, sendo restrita as proximidades de Nova Palmeira; b) Fase D_{n+2} - Predominante na área, sendo representada por milonitos com alto ângulo de mergulho da foliação (S_{n+2}) associados à lineação (L_{n+2}) de estiramento mineral horizontal a sub-horizontal com direção de mergulho NE-SW e N-S. As principais estruturas associadas a esta tectônica são as zonas de cisalhamento NE-SW Picuí João Câmara e a zona de cisalhamento de Pedra Lavrada, ambas caracterizadas por regime de deformação fortemente não coaxial dextral e c) fase D_{n+3} que possui caráter preferencialmente dúctil-rúptil e rúptil, sendo responsável pelo desenvolvimento de fraturas normalmente

discordantes que podem ou não ser preenchidas por pegmatitos ou aplitos que cortam todas as unidades da área, eventualmente portando mineralizações importantes;

iii) No interior dos pegmatitos estudados ocorrem famílias de fraturas que podem ou não ser preenchidas por pegmatito ou quartzo/silex. O mapeamento dessas fraturas revelou um padrão de orientação diferente para cada zona mapeada, que pode auxiliar como guias prospectivos dentro destes corpos pegmatíticos, facilitando a extração de determinados minerais controlados estruturalmente;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agrawal, V.N. 1992. Relationship between pegmatite emplacement and tectono-metamorphic events in the Seridó Group, Northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 22: 282-289.

Araújo, M.N.C., Silva, F.C.A., Jardim de Sá, E.F. 2011. Pegmatite emplacement in the Seridó Belt, Northeastern Brazil: Late stage kinematics of the Brasiliano Orogen. *Gondwana Research*, 4: 75-85.

Hackspacher, P.C., Dantas, E.L., Brito Neves, B.B. and Legrand, J.M., 1997. Northwestern overthrusting and related lateral escape during the Brasiliano orogeny north of the Patos lineament, Borborema province, Northeast Brazil. *International Geology Review*, 39: 609-620.

Santos, E.J., Brito Neves, B.B., Van Schmus, W.R., Oliveira, R.G., Medeiros, V.C. 2000. An overall view on the displaced terrane arrangement of the Borborema Province, NE Brazil. In: 31th International Geological Congress, 2000)...Bouletin 1, p. 5-9.

Santos, E.J., Ferreira, C.A., Silva Jr, J.M. 2002. Nota explicativa do Mapa Geológico da Paraíba. Serviço Geológico do Brasil, 234 p.

Santos, E.J., Souza Neto, J.A., Silva, M.R.R., Beurlen, H., Cavalcanti, J.A.D., Silva, M.G., Costa, A.F., Santos, L.C.M.L., Santos, R.B. 2014. Metalogênese das porções norte e central da Província Borborema. In: Silva, M.G. Neto, M.B.R. Jost, H. Kuyumjian, R.M. (Eds) Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras. CPRM p. 343 388.

SENSORIAMENTO REMOTO AUXILIANDO A PESQUISA MINERAL NO SERIDÓ (PB/RN)

Maríllia de Freitas Sales Araújo¹, Fabrício Fernandes Vieira², Elissandra N. Moura³

Graduanda em Engenharia de Minas, UFCG.

Mestrando em Engenharia Petrolífera e Mineral, UFCG.

Doutora Professora da Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, UFCG.

marillia_sales_09@hotmail.com

RESUMO

O Complexo Pegmatítico da Borborema, no Seridó (PB/RN) representa um importante pólo para exploração de rochas ornamentais, gemas e minerais industriais. A aplicação de fotointerpretação pode auxiliar na seleção de áreas para a prospecção mineral, através da indicação de áreas favoráveis para investigações detalhadas. Com o objetivo de analisar imagens aéreas e orbitais do Seridó (PB e RN), gerando mapas que possam servir de base para mapeamentos geológicos/estruturais futuros e que sirvam como auxiliares na escolha de áreas para pesquisa mineral, foram gerados e analisados mapas de vias de acesso, drenagem e lineamentos. Foi comparada ainda a qualidade dos resultados interpretativos entre as imagens de satélite, radar e fotografia aérea. A área de estudo tem aproximadamente 7.374 km², abrangendo um total de 25 municípios. Foram analisadas as fotografias aéreas dos anos de 1966 e 1967, do acervo da Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, imagens SRTM, fornecidas pelo site da Embrapa, e imagens de satélite do geoportal AESA. As imagens foram trabalhadas manualmente e no ArcGis 10.1, onde foram gerados diferentes mapas. Através da análise dos mapas de drenagem e lineamentos, percebe-se o forte controle estrutural das feições geológicas, com *trends* E-S e NE-SW, seguindo o Lineamento Patos e suas inflexões. No noroeste da área, a direção NW-SE se destaca, sendo esse *trend* menos comentado na literatura. A partir de análise da distribuição espacial de minas que constam no banco de dados do DNPM e verificação em campo, atentamos para o forte controle estrutural dos diques pegmatíticos mineralizados (caulin e gemas). As imagens de satélite e radar fornecem dados mais atualizados e que agregam informações digitais que vão além do espectro do visível, além de permitir sua manipulação em diferentes escalas, estas são algumas das vantagens com relação às fotografias aéreas. As imagens de Radar são excelentes para a extração de lineamentos. A estereoscopia das fotografias aérea, cada vez mais em desuso, revelou, porém, feições que não eram destacadas em outras imagens.

Palavras-chave: Complexo Pegmatítico, fotointerpretação, prospecção mineral.

ABSTRACT

The Pegmatitic Complex Borborema in Seridó (PB / RN) represents a major hub for exploration of ornamental rocks and gemstones. The application of photo-interpretation can assist the selection of areas for mineral exploration, by indicating favourable areas for detailed investigations. In order to analyse aerial and satellite images of *Seridó* (PB and RN), generating maps that can form the basis for future geological and structural mapping serving as support for choosing areas for mineral exploration, maps with roads, access, drainage and lineation were generated. It was also compared the quality of interpretive results between satellite, radar images and aerial photography. The study area is approximately 7,374 square kilometers, covering a total of 25 districts, among them: Jardim do Seridó (RN), Picuí, Passagem and Soledade (PB). Aerial photography from 1966 and 1967 of the collection of the Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia (UAMG – UFCG), SRTM images supplied by the Embrapa site, and satellite images of AESA geo-portal were analyzed. The images were manually treated and by using ArcGIS 10.1, generating different maps. By analyzing the drainage and lineation maps, the strong structural control of geological features with NE-SW trends and NNE-SSW following the Patos lineation and their inflections were noticed. At northwest of the area, the NW-SE direction is predominant, being less discussed in the literature. The spatial distribution of mines contained in DNPM database and verifications in the field indicate a strong structural control of mineralized pegmatite dikes (kaolin and gemstones). Satellite and radar imagery provide more updated data and add digital information beyond the visual and also allow manipulation at different scales, these are some of the advantages over aerial photographs. The radar images are excellent for lineation extraction. The stereoscopy of aerial photographs, increasingly out of use, revealed, however, features that were not highlighted in other images.

KEYWORDS: The Pegmatitic Complex Borborema, photo-interpretation, mineral exploration.

1. INTRODUÇÃO

Para assegurar a continuidade de fornecimento de minérios para os seus clientes, essas empresas necessitam de novas áreas/recursos para exploração futura, que devem existir para atendimento de novos projetos de produção.

Assim, o conhecimento geológico de uma área é fundamental para definir a sua potencialidade mineral, sua importância econômica e viabilidade para a implantação de

projetos: (a) de engenharia de minas, como a exploração de depósitos minerais a céu aberto ou subterrânea; (b) de engenharia civil, com a construção de túneis, estradas de ferro, pontes, rodovias e barragens; (c) de engenharia agrícola, com projetos de irrigação, entre outros.

Diante disso, para assegurar ao mercado o fornecimento de minérios, se faz necessário, não só o acompanhamento diário dos eventos relacionados aos seus títulos minerários, como ao mesmo tempo monitorar as mais diversas informações relacionadas a este mercado minerador.

Na contínua procura de condições cada vez mais seguras e rápidas para a execução destes trabalhos, a utilização do sensoriamento remoto, através das técnicas de interpretação visual de imagens de satélite/ radar ou de fotointerpretação, se apresenta como uma solução eficaz, na análise de diferentes formas de apreensão de paisagem, fundamentais na identificação e interpretação dos diversos elementos geológicos expostos nas imagens. A interpretação dessas imagens de sensores remotos também é de grande valia, não só na confecção do mapa geológico da área, mas sobretudo na busca e controle das mineralizações.

A aplicação da fotointerpretação auxiliará muito na seleção de áreas para prospecção mineral, fornecerá dados suficientes sobre determinada mineralização, com destaque para os materiais e minerais industriais (Arcanjo, 2011). Levando a facilmente indicar as áreas favoráveis para investigações detalhadas.

A área de abrangência do projeto que fomenta este trabalho é a Província mineral da Borborema, do Seridó, entre os Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte e Ceará. Os bens minerais focados são: caulins, columbita-tantalita, feldspatos, turmalinas, berilos, minerais de lítio (amblygonita e espodumênio), fosfatos (apatita, monazita, xenotima), muscovita e quartzitos. O estudo prevê melhorar alguns elos da cadeia produtiva desses minerais, desde a pesquisa mineral, método de lavra, processamento mineral, avaliação dos impactos ambientais, aproveitamento dos resíduos, e avaliação da mineração dessa região através de indicadores de sustentabilidade.

A fotointerpretação é fundamental para as etapas da pesquisa mineral e avaliação de impactos ambientais. Este trabalho tem como objetivo a análise de imagens aéreas e orbitais do Seridó (PB e RN), gerando mapas de drenagem, lineamentos e vias de acesso, que possam servir de base para mapeamentos geológicos/estruturais futuros e que sirvam como auxiliares na escolha de áreas para pesquisa mineral.

Um objetivo secundário foi comparar a qualidade dos resultados interpretativos entre as imagens de satélite, radar e fotografia aérea.

2. METODOLOGIA

O início de um projeto de pesquisa consiste, primeiramente, na sua idealização, no estabelecimento dos objetivos a serem atingidos, assim como na definição da metodologia e os materiais a serem utilizados para a realização do projeto.

Na segunda fase do projeto foi feita a aquisição de dados. Nessa etapa foram adquiridos as fotografias aéreas do arcabouço da Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia (UAMG), imagens de satélite fornecidas pelo geoportal AESA e imagens SRTM fornecidas pelo site na web da Embrapa; e dados bibliográficos para o embasamento do resultado final.

Para produzir mapas interpretativos foram utilizadas fotografias aéreas, imagem de satélite e radar. Do acervo da UAMG/UFCG, foram usadas as fotografias aéreas na escala de 1:70 000. Na escala orbital foram usadas imagens SRTM, em formato digital, encontradas no site da Embrapa e imagens de satélite, em formato digital, fornecidas pelo geoportal AESA.

As imagens foram processadas em um Sistema de Informação Georreferenciadas (SIG), utilizando o ARCGIS, versão 10.1. As imagens geradas pela fotointerpretação foram digitalizadas e georreferenciadas e as imagens de satélite e radar serviram de base para a produção dos mapas.

Para o estudo em questão, produziram-se sete mapas: dois de vias de acesso, um pela fotointerpretação e o outro pela imagem de satélite; um de drenagem, feito pela imagem de satélite; e cinco de lineamentos, na escala de 1:70 000, cada um produzido por um tipo de imagem diferente (fotografia aérea, imagem de satélite e imagem de radar) e dois de sobreposição de imagem para comparação de resultados.

Por fim, com os mapas gerados, foram feitas as interpretações visuais sobre o que eles apresentaram e uma análise sobre as estruturas neles encontradas.

3.IMAGENS DA ÁREA DE ESTUDO E SUAS INTERPRETAÇÕES

3.1 ANÁLISE DAS VIAS DE ACESSO

Uma via de acesso georreferenciada permite que esta tenha informações precisas de localizações de qualquer ponto por coordenadas UTM. São informações como a posição geográfica do eixo da rodovia, a posição de cada bueiro, de cada ponte, de cada talude, de cada furo de sondagem, de cada classificação do solo e muito mais. Todas estas informações atribuídas por uma coordenada UTM, possibilita uma melhor troca de informações por profissionais com medidores, projetistas e profissionais de execução de obra (SOUZA JR, 1999).

A interpretação das linhas contínuas, cuja localização independe da topografia, das imagens de fotografia aérea gerou o mapa de vias de acesso da figura 3.1.

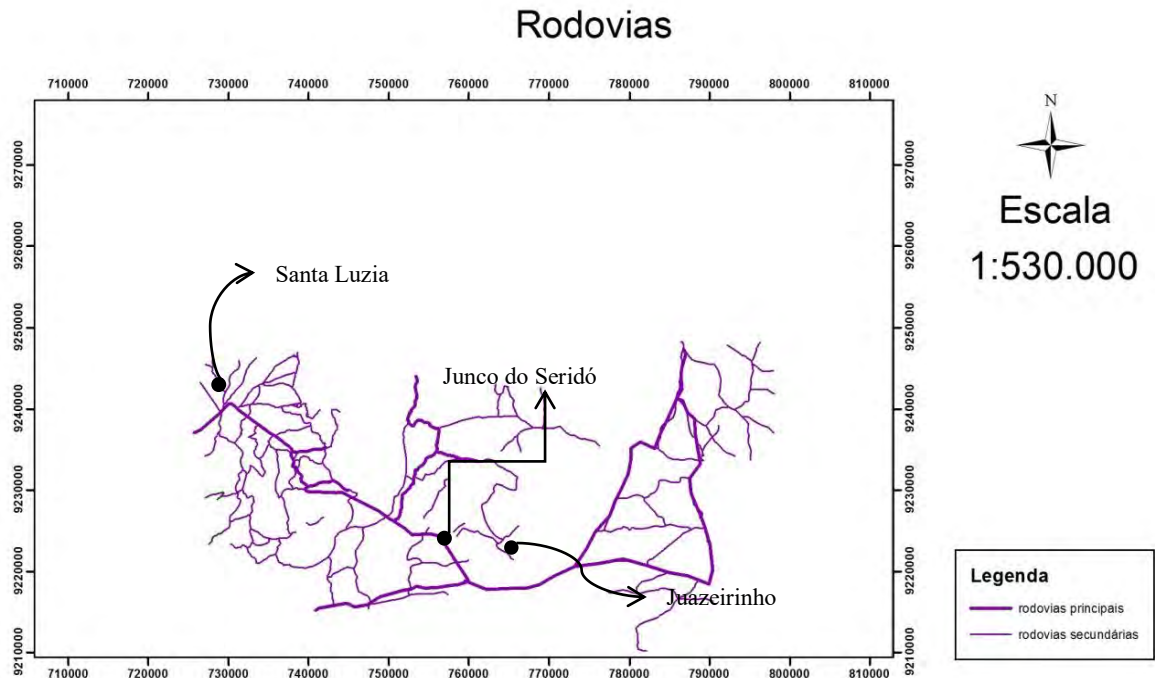


Figura 3.1 – Rodovias traçadas com base nas fotografias aéreas de 1967, dos arquivos da UAMG que faziam parte da área de estudo.

Em seguida foi extraído o traçado das rodovias federais e estaduais no website da Embrapa, feito a partir das imagens de satélite dos dias atuais, conforme figura 3.2. É visto que passado uma média de quase 50 anos, não houve grandes mudanças no que diz respeito à construção de novas estradas. A BR-230 continua sendo a principal via de acesso para chegar e explorar a área de estudo.

A fotografia área da microrregião do Seridó Ocidental paraibano permitiu a identificação de estradas de terras, ocultadas no mapa de rodovia da imagem de satélite o qual identifica apenas as principais: federais e estaduais. Nota-se ainda que nessa região a quantidade de rodovias secundárias (chamadas também de barro ou terra) é bastante densa, entretanto, com o passar dos anos e governos se observou que algumas delas foram reformuladas, melhorando o acesso as pequenas cidades ali presentes.

Quanto às vias de acesso da imagem de satélite, têm-se duas principais rodovias: a BR-230, na direção noroeste-sudeste e a RN-088, na direção noroeste-nordeste. As outras vias de acesso se caracterizam por se interligarem em vários pontos, o que pode ser a indicação de pequenas ruas dentro da área urbana ou no próprio entorno da cidade de administração do governo. Evidenciando então que a maioria dos acessos secundários é artesanal (de terra).

O pouco número de acessos que apresentam administração pode justificar a não popularidade e crescimento dessa região.

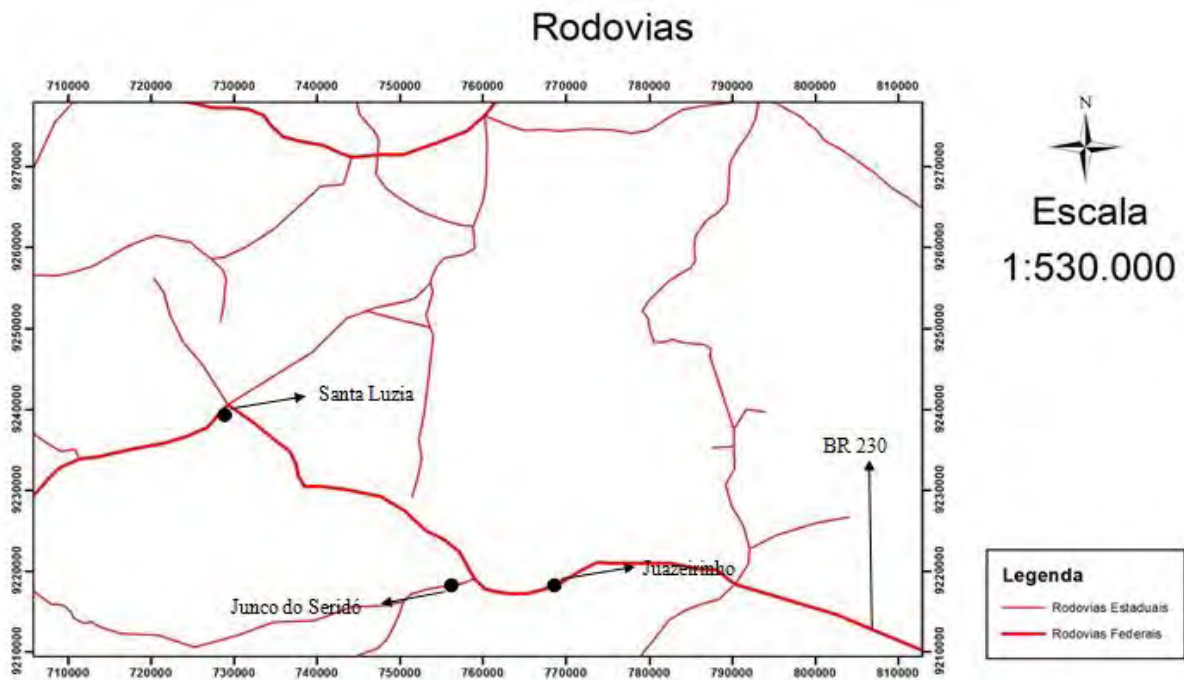


Figura 3.2 – Mapa das vias de acesso (obtido no website da Embrapa).

3.2 ANÁLISE DE LINEAMENTOS

Os lineamentos presentes na área de estudo, figura 3.1, quando extensos, apresentam-se retos ou pouco ondulados no meio do seu comprimento e suavemente curvados, ao mudar de direção e no seu término. Essa curvatura na mudança de direção representa bem o caráter dúctil o qual se deformou essas rochas, quando foram submetidos aos grandes esforços cisalhantes do Ciclo Brasileiro na área.

Os lineamentos não estão igualmente distribuídos, como pode ser visto no mapa (figura 3.1), mas aparecem agrupados dentro de zonas formadas por um grande número de traços paralelos e espaçadamente fechados. Essa característica fica bem evidente nos lineamentos da Formação Equador, localizada na porção sul da área.

O padrão formado pelos lineamentos sugere a ocorrência de um sistema de cisalhamento de grande extensão e atuante, não somente na área de estudo, mas em todo o Estado da Paraíba, tendo como principal feição estrutural o lineamento Patos. A maior tendência de cisalhamento apresenta-se orientado para E-W, como pode ser notado nos lineamentos presentes no mapa. Existe, porém, certa tendência de ramificação para norte-nordeste, denotando uma conexão com outros cinturões de cisalhamento (figura 3.1).

Lineamentos obtidos a partir da interpretação da imagem de satélite

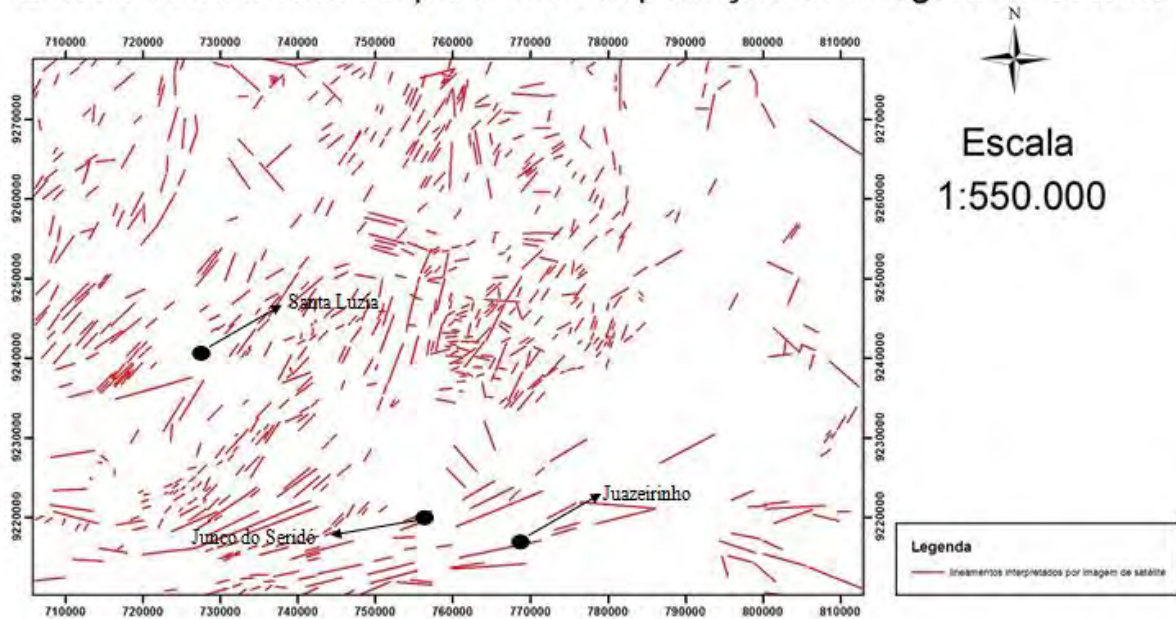


Figura 3.1: Mapa de lineamentos extraídos de imagem de satélite.

Afim de comparação, os lineamentos foram traçados em cima da imagem de radar. Para credibilidade desse novo mapa a imagem foi explorada no ArcGis 10.1 numa escala de 1:70000, do mesmo modo que a anterior.

O mapa de lineamentos, com base na imagem de radar, apresentou em sua maioria o mesmo resultado que o mapa de lineamentos com base na imagem de satélite. Em ambos os casos foi possível identificar que os lineamentos em sua maioria tomam a direção NE-SW e estão em maior densidade na porção central e sudoeste do mapa.

Por fim, foram traçados os lineamentos tomando como base as fotografias aéreas. Fazendo a análise do mapa de sobreposições por partes, dando início da esquerda para direita, é visto que os comprimentos são variados e que a direção é predominantemente a mesma, NE-SW, com algumas mudanças em pontos específicos e na parte noroeste.

A porção central do quadrante é menos densa e seus lineamentos não apresentam uma direção preferencial. A figura apresenta regiões com vazios, ocasionadas pela ausência de fotografia aérea do local no arquivo da UAMG.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho ratifica o Sensoriamento Remoto como uma excelente ferramenta, em conjunto com o georreferenciamento, sendo otimizadores do trabalho de campo, através dos resultados oferecidos pelos mapas.

A respeito do uso de diferentes imagens, podemos encontrar alguns benefícios de algumas com relação às outras:

A imagem de satélite foi facilmente adquirida por meio da internet. Este produto permite combinações coloridas que destacam materiais de diferentes naturezas físico-químicas e são atuais.

Apesar de ter caído em desuso pelo surgimento de novas tecnologias e escassez de profissionais especializados, a fotografia aérea ainda é um instrumento de muita utilidade para o geoprocessamento de dados além de uma ferramenta barata quando comparada a outra. Na confecção dos mapas, seu diferencial foi na percepção de detalhes que a imagem de satélite e radar não trouxeram. Todas elas foram trabalhadas em mesma escala 1:70000, entretanto a fotointerpretação, tanto no caso das vias de acesso, como nos lineamentos, apresentou imagem mais detalhada que as de satélite e radar. As imagens de radar permitem o reconhecimento das diferenças de relevo, em detrimento do tipo de material envolvido. Através do uso de paletas em tons de cinza, que ressalta as diferenças de relevo, o traçado de lineamentos foi facilitado, ficando mais perceptíveis do que na imagem de satélite. O que justificou a presença de alguns lineamentos a mais, comparado aos outros mapas (figura 4.13).

Os mapas de vias de acesso foram gerados a partir da fotografia aérea (1967) e de satélite (dias atuais) (figuras 4.6 e 4.7). Pode-se comparar as mudanças ocorridas ao longo dessas últimas 5 décadas. No mapa de vias de acesso, observa-se que a principal via de acesso da região é a BR-230, que corta a área de uma ponta a outra, sentido oeste-leste. Constatou-se também a pouca quantidade de estradas administradas pelo governo (federal e estadual), sendo a região composta predominantemente ainda de estradas artesanais (feitas de barro ou terra). Foi visto que não houve um aumento considerável na quantidade de estradas, apenas reformas nas rodovias principais que passaram a ser asfaltadas e sinalizadas. Este penúltimo fator citado anteriormente pode ter influenciado o pouco desenvolvimento da região ao longo dos anos.

A exploração de rochas ornamentais e de revestimento, por exemplo, são expoentes para o setor mineral no Seridó. Muitas empresas poderiam investir em pesquisa e no desenvolvimento de novas jazidas. No entanto, a infraestrutura estadual de logística, principalmente, no transporte, é um fator de direta influência para a avaliação de uma jazida, sendo uma das variáveis que viabilizam ou não a minimização de custos logísticos da pedreira a ser implantada. (Costa e Costa, 2015). É portanto importante acompanhar o desenvolvimento da rede de vias de acesso.

No que diz respeito ao mapa de drenagem, notou-se que em geral uma rede hidrográfica de densidade média, indicando um substrato rochoso com baixo grau de infiltração ou a presença de materiais impermeáveis. Verificam-se padrões angular, dentrítico e retangular, resultantes do controle estrutural. Outra constatação relevante foi que os canais estão orientados preferencialmente nas direções NE-SW, NW- SE, bem como NE-SW. Essas direções correspondem à superfície tabular dissecada e a aguçada dissecada, que justificam o redirecionamento dos canais.

No tocante aos mapas de lineamentos, observamos que, mesmo tendo como base na sua confecção imagens diferentes (fotografia aérea, imagem de satélite e imagem de radar), os resultados apresentados, de modo geral, são os mesmos. Outra avaliação efetuada com relação aos lineamentos é que eles não estão igualmente distribuídos, mas estão agrupados em zonas formadas por um grande número de traços paralelos e espaçadamente densos. Essas características ficaram bem evidente nos lineamentos da Formação Equador, localizada na porção sul da área. O padrão formado pelos lineamentos sugere a ocorrência de um sistema de cisalhamento de grande extensão e atuante, não somente na área de estudo, mas em todo o Estado da Paraíba, tendo como principal feição estrutural o lineamento Patos. A maior tendência de cisalhamento apresenta-se orientado para E-W, como pode ser notado nos lineamentos presentes no mapa. Existe, porém, certa tendência de ramificação para norte-nordeste, denotando uma conexão com outro cinturão de cisalhamento. Na porção noroeste da área há lineamentos NW-SE, sendo esse *trend* pouco abordado na literatura.

De modo geral, esta pesquisa levantou a questão até então pouco mencionada, do uso do sensoriamento remoto para a pesquisa mineral. O resultado do georreferenciamento acoplado a essa ferramenta facilita a busca e controle das mineralizações, bem como, direciona o trabalho de campo, otimizando o tempo e qualidade do trabalho dos projetistas.

Mais especificamente para o setor de pesquisa mineral, algumas possíveis aplicações podem ser seguidas, considerando que a utilização de imagens nas áreas onde o controle da mineralização é conhecido, está na identificação de outros locais, com características semelhantes aos das mineralizações. Ou seja, se a mineralização estiver associada a algum tipo de estrutura, é procurar as feições idênticas nas imagens (Arcanjo, 2011).

Um exemplo dessa aplicação foi a detecção dos principais padrões estruturais regionais, a partir da qual caracterizamos áreas potencialmente mineralizadas dos pegmatitos nas proximidades do município de Junco do Seridó (Fernandes et al 2015).

Foi verificado a presença de estruturas rúpteis que ocorrem secundariamente afetando principalmente os-pegmatitos. Essa tectônica é representada por falhas e fraturas de direção E W, NW SE e N S facilmente observadas em escala de afloramento.

Essa tectônica é particularmente importante, pois veios mineralizados em feldspato (caulinizados ou não) e quartzo de coloração rosa podem estar associados a essas fraturas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCANJO, J. B. A. **Fotogeologia: conceitos, métodos e aplicações**. Salvador, Brasil 2011.

FERNANDES, F. V.; ARAÚJO, M. F. S.; LIMA, E. N. M. **Identificação de Controles Estruturais no Seridó Paraibano e Potiguar através de Sensoriamento Remoto**. Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos. Vitória – ES, 2015.

Costa e Costa, 2015. Artigo da pág. 104 do boletim com resumos no Simpósio de Geologia do Nordeste.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em:<<https://www.embrapa.br/>>. Acesso em: 12 mai 2015.

IMPLANTAÇÃO DA UNIDADE DE BRITAGEM DA EMPRESA GALVÃO ENGENHARIA PARA PRODUÇÃO DE BRITA PARA PAVIMENTAÇÃO DO TRECHO DA BR 101 RN/DIVISA DA PB

Mauro F. Meyer¹, Marcondes M. Souza², Valter Cruz S. Junior³

¹ Mauro Froes Meyer - Professor do IFRN (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - Avenida Senador Salgado Filho, 1559, Tirol – Natal – RN – CEP: 59150-015

Fones: (084) 4005-9949 e (084) 9926-5330 E-mail:

mf.meyer@hotmail.com; mauro.meyer@ifrn.edu.br;

² Marcondes Mendes de Souza - Professor do IFRN (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. E-mail: marcondes.souza@ifrn.edu.br

³ Valter Cruz Silva Júnior - Aluno do Curso de Mineração do IFRN (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte). E-mail: junin_valter@hotmail.com

RESUMO

Este trabalho se refere à unidade de britagem de rochas graníticas com capacidade de produção em torno de 800 m³/dia, que foi instalada pela GALVÃO ENGENHARIA S/A, em terras do imóvel denominado Sítio Porção, distrito e município de Espírito Santo no Estado do Rio Grande do Norte. Este trabalho tem como justificativa a descrição da área de estudo levando em consideração a localização do empreendimento e aspectos fisiográficos (clima, relevo, vegetação e hidrografia) além de aspectos de infraestrutura e cronograma de planos das atividades da área em estudo. Se observarmos que o empreendimento a médio e longo prazo, trouxe benefícios sociais e econômicos para a população circunvizinha, com a geração de emprego e melhoria da qualidade de vida, além de promover o incremento da economia local e regional, concluímos ser uma atividade trouxe uma série de benefícios sociais para a região nordeste. Assim foi possível analisar a viabilidade técnica e econômica para implantação do sistema de britagem para produção de brita granítica para duplicação da BR 101 entre o Rio Grande do Norte e a divisa com a Paraíba.

Palavras-chave: britagem, rocha granítica, viabilidade

ABSTRACT

This work refers to the crushing unit of granitic rocks with a production capacity of about 800 m³ / day, which was installed by GALVÃO ENGINEERING S / A, Property land called site portion, district and county of the Holy Spirit in the State of Large northern river. This work is justified by the description of the study area taking into account the location of the development and physiographic features (climate, topography, vegetation and hydrography) as well as infrastructure aspects plans and schedule of activities in the study area. If we look at the project in the medium and long term, brought social and economic benefits to the surrounding population, job creation and improved quality of life, and promote the growth of local and regional economy, we conclude that an activity brought a number of social benefits for the northeast region. Thus it was possible to analyze the technical and economic feasibility for implementation of the crushing system for producing crushed stone granite for duplication of the BR 101 between Rio Grande do Norte and the border with Paraíba.

KEYWORDS: crushing, granite rock, viability

1. INTRODUÇÃO

Este texto explicativo se refere à unidade de britagem de rochas graníticas com capacidade de produção em tomo de 800 m³/dia, que será instalada pela GALVÃO ENGENHARIA S/A, em terras do imóvel denominado Sítio Porção, distrito e município de Espírito Santo no Estado do Rio Grande do Norte. Dentre os insumos minerais de maior interesse para indústria da construção civil, os agregados, termo usado para agrupar materiais granulares (areia e brita), são de suma importância e estão entre os recursos naturais mais abundantes da natureza.

São utilizados largamente na produção de concreto e artefatos de cimento, argamassas, na pavimentação asfáltica de ruas e estradas, como lastro de ferrovias, filtros e enrocamentos. De uma maneira geral, os agregados são classificados em função da origem, densidade e dimensão (tamanho) dos fragmentos. O ciclo de produção de uma mina envolve uma série de operações unitárias que visam, inicialmente, à extração do minério na jazida, onde está contido, e a sua movimentação para uma segunda etapa de preparação desta massa desmontada, objetivando a sua adequação às exigências do mercado no que concerne ao teor de concentração, à separação de minerais deletérios e à faixa granulométrica desejada.

Da pilha de estoque o granito é colocado no alimentador do britador com auxílio de uma pá carregadeira, sendo então submetido a uma britagem primária, passando a seguir por um sistema de peneiras que separa a brita nos tamanhos nominais desejados. O material que não passa nas peneiras retoma por esteira rolante para o britador, sendo então submetido a uma nova britagem, ao final do processo todo o material que entra no alimentador é transformado, em brita nas dimensões desejadas. Estes materiais separados por peneiramento são transportados do britador para pilhas individuais através de sistema de correias transportadoras.

2. DESCRIÇÃO DA INFRAESTRUTURA LOCAL DE ESTUDO - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A unidade de britagem será instalada numa área de $250 m^2$ em terras do imóvel denominado Sítio Porção propriedade situada na zona rural s/n, distrito e município de Espírito Santo no Estado do Rio Grande do Norte.



Figura 1 - Mapa de localização e acesso do município.

O acesso à área, a partir de *Natal*, capital do Estado, é realizado pela *BR101*, percorrendo-se nesta rodovia asfaltada de *70 km* até a cidade de *Goianinha*. A partir daí segue-se por *13 km* através da rodovia *RN-003* em demanda a cidade de *Espírito Santo*, entrando-se a esquerda em estrada carroçável na qual se percorre o trecho final de *800 metros* até o *Sítio Porção*.



Figura 2 - Estrada de acesso à área da unidade de britagem.

3. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS: VEGETAÇÃO

As espécies vegetais típicas da região são caracterizadas por caatinga hiperxerófila (formação vegetal resistente a períodos de estiagem, composta por arbustos e árvores com espinhos, que lhe confere um aspecto agressivo). Na área, onde será implantada a unidade de britagem a vegetação apresenta-se totalmente antropizada, com campos abertos (figura 3) representada por gramíneas e herbáceas, ocorrendo nos arredores algumas espécies em fase de regeneração.



Figura 3: Aspecto da vegetação na área onde será implantada a unidade

4. GEOMORFOLOGIA

Geomorfologicamente, na paisagem local, destacam-se Tabuleiros, representados por relevos residuais esculpidos em sedimentos do Grupo Barreiras, que cedem lugar as formas denudacionais rebaixadas da Depressão Sertaneja instaladas na litologia do embasamento cristalino. Localmente observa-se uma geomorfologia de relevos planos, com suaves ondulações.



Figura 4 – Detalhe do afloramento de granito para obtenção de brita.

5. RECURSOS HÍDRICOS

A rede de drenagem da área insere-se na bacia hidrográfica do Riacho do Sal afluente de 1ª ordem da margem direita do Rio Jacu. O quadro hidrológico dominante é caracterizado, pela rápida infiltração e intensa evaporação, tendo geralmente como padrão de drenagem o tipo dendrítico, entretanto com variações para retangular e densidades variáveis, dependendo dos aspectos estruturais e geológicos (lito-estruturais) atravessados.

6. SOLOS

Na região dominam os solos do tipo Planos solo Solódico, Areias Quartzosas Distróficas, Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico e Aluviais Eutróficos. As espécies vegetais neles estabelecidas são típicas de caatinga hiperxerófila (formação vegetal resistente a períodos de estiagem, composta por arbustos e árvores com espinhos, que lhe confere um aspecto agressivo).

7. CLIMA

O município de Espírito Santo com temperatura média anual em torno de 25,6°C, umidade relativa média anual de 72%, e taxas de precipitações pluviométricas média de 800 a 1.200 mm anuais, possui um clima do tipo sub-úmido com verão seco e estação chuvosa adiantando-se para o outono, estendendo-se de março a julho.

7. DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO

Como servidões, nas proximidades da área da unidade de britagem a empresa pode contar com: estrada carroçável que dá acesso a partir da estrada asfaltada RN -003. A cidade de Espírito Santo sede municipal que dista de apenas 1,4 km da unidade de britagem, conta com boa infraestrutura no que diz respeito à distribuição d'água potável, telefonia fixa, energia elétrica, além de possuir um comércio varejista bem desenvolvido.

Para efeitos das Normas Regulamentares de Mineração (*NRM*), entende-se por beneficiamento de minérios o tratamento visando prepará-lo granulometricamente, concentrar ou purificar por métodos físicos ou químicos sem alteração da sua constituição química. O processo de beneficiamento deve ser otimizado para obter o máximo aproveitamento do minério e dos insumos, observadas as condições de economia de produção, sendo desenvolvidas estas atividades com a observância dos aspectos de segurança, saúde ocupacional e proteção ao meio ambiente.

No geral as operações de beneficiamento consistem em britagem primária, secundária e rebitagem em uma ou duas etapas (britagem terciária e quaternária). Os britadores mais utilizados nas britagens primária e secundária são os de mandíbula e na rebitagem são os rebritadores de cônicos, girosféricos e de mandíbulas.



Figura 5 – Detalhe das instalações do beneficiamento.

A rocha bruta é desmontada e submetida a um processo de britagem e rebitagem, em até três estágios, utilizando britadores de mandíbulas e cônicos. A classificação é feita em peneiras vibratórias e ensilamento específico por faixa granulométrica, formatando os produtos para o consumidor: rachão, produto fragmentado na lavra; gabião, com dimensão entre 100 e 150 mm; brita 0,1,2,3,4,5, com granulometria graduando entre 4,8 e 100 mm; pó de pedra, fração de finos, com dimensão de até 5 mm.

Do depósito de estoque o granito é colocado no alimentador do britador com auxílio de pá carregadeira com rodas, sendo então submetido a uma britagem primária, passando a seguir por um sistema de peneiras que separa a brita nos tamanhos nominais desejados.

O material que não passa nas peneiras retoma por esteira rolante para o britador, sendo então submetido à rebitagem, ao final do processo todo o material que entra no alimentador é transformado, em brita nas dimensões nominais desejadas. Estes materiais separados por peneiramento são transportados do britador para pilhas individuais através de sistema de esteiras rolantes.

8. CRONOGRAMA DE ELABORAÇÃO DOS PLANOS

Para a implantação da unidade de britagem até o presente momento foram realizados o serviço topográfico de nivelamento do terreno limpeza do terreno, e o início da construção da base do alimentador / britador. A empresa dispõe de acordo com proprietário do terreno onde vai ser implantada a unidade de britagem, Licença e Anuência da Prefeitura de Espírito Santo para o seu funcionamento, além de Licença expedida pelo Departamento Nacional de Produção Mineral DNPM/RN para a extração da matéria prima (granito).

O trabalho de duplicação da BR-101 traz consequências para a população residente ao longo da rodovia. Muitos já moravam às margens da estrada e dela tiravam seu sustento há mais de 40 anos. Para atender a essas demandas foi elaborado o Plano Básico Ambiental N° 09, por meio do qual o Exército Brasileiro realizou várias ações em prol da melhoria das condições de vida das famílias envolvidas, ao longo de toda a rodovia, desde Natal (RN) até Mamanguape (PB), tanto nos lotes “militares”, como nos “civis”.

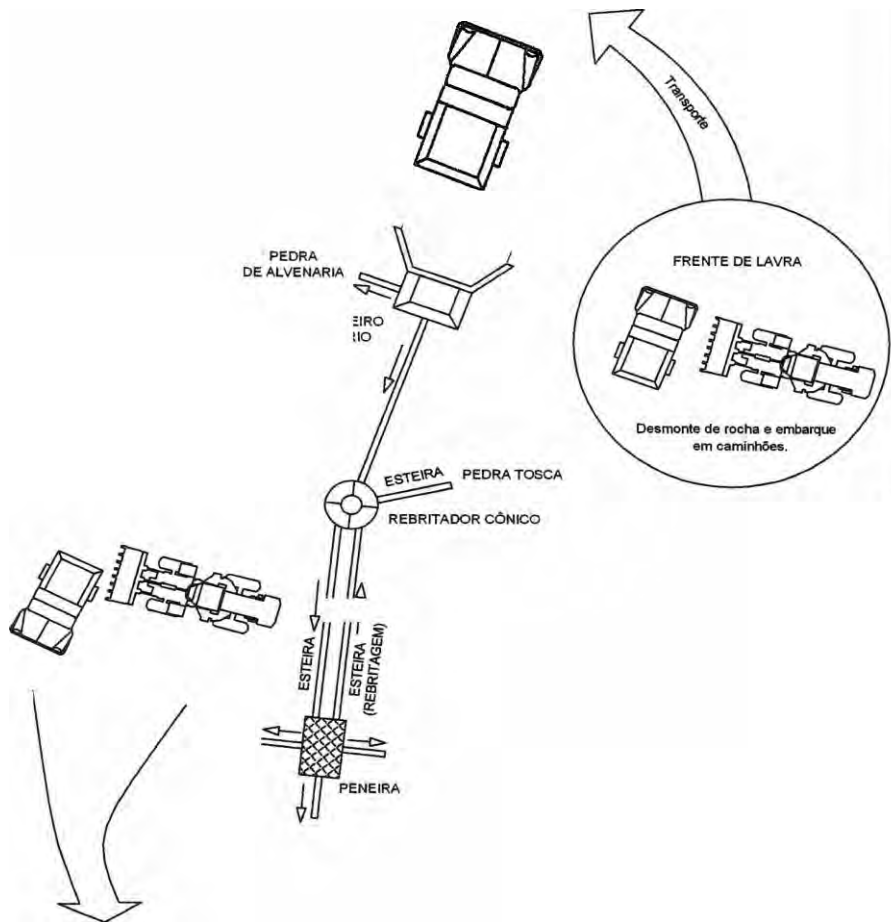
No Lote 01 (Natal/RN – Divisa RN/PB), foram concluídos em toda extensão prevista da pista nova (duplicação) os serviços de pavimentação em placas de concretos simples (CS), incluindo a pista dupla na travessia urbana de São José de Mipibú. Segue em bom ritmo a execução dos serviços no acostamento (CAUQ), barreira New Jersey, meio-fio e outros serviços complementares para concluir os 20 km de pista nova a partir do Km 122,4 até o final do lote. Todas as obras de arte especiais deste lote já foram concluídas, restando apenas duas passarelas metálicas.

As obras de drenagem (execução de galerias) na travessia urbana de Goianinha avançam entre o Km 147,8 e o Km 148,8, tanto na pista esquerda, quanto na pista direita, à medida que os impedimentos existentes (COSERN, CAERN e OI) liberam frentes, principalmente para as marginais esquerda e direita, que após concluídas permitirão a execução dos 1,9 km restantes em placas de concreto simples (CS).



Figura 6 – Detalhe das obras de Duplicação da BR 101.

FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO



9. CONCLUSÕES

Observa-se, com o desenvolver do estudo, que a extração mineral, se efetuada de maneira responsável, racional e correta, pode ser uma atividade que não venha a comprometer as condições ambientais atuais. As atividades de extração de brita, se realizada de forma racional e correta, não alteram as condições atuais do meio ambiente.

Se observarmos que o empreendimento a médio e longo prazo, trouxe benefícios sociais e econômicos para a população circunvizinha, com a geração de emprego e melhoria da qualidade de vida, além de promover o incremento da economia local e regional, concluímos ser uma atividade trouxe uma série de benefícios sociais para a região nordeste. Mediante ao exposto foi possível identificar os diversos aspectos que contribuíram para a duplicação da BR 101 sendo considerada uma obra muito importante para o Rio Grande do Norte e também para o nordeste brasileiro.

10. REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento Exploratório – **Reconhecimento de Solos do Rio Grande do Norte**. SUDENE, Recife – PE, 531p. 1971.

Campos, S. A. **Contribuição ao estudo do Grupo Barreiras no Rio Grande do Norte**. Natal: Arq. Inst. Antropologia de Natal/UFRN, 1969.

King, L. C. **A geomorfologia do Brasil oriental**. Revista Brasileira de Geografia. Rio de Janeiro, 18(2): p 147-265, 1956.

Mabesoone, J. M. & Castro, C. **Desenvolvimento geomorfológico do Nordeste Brasileiro**. Bol. Do Núcleo Nordeste da Soc. Brás. Geol., Recife, p 35-36, 1975.

Souza, H.R., Catalani, G. **Manual Prático de Escavação**. São Paulo: Editora McGraw-Hill do Brasil Ltda, 283p, 1976.

TÉCNICAS. Associação Brasileira de Normas - ABNT (NBR 13029) - **Coletânea de Normas de Mineração e Meio Ambiente**, Companhia Vale do Rio Doce, Rio de Janeiro, 1993.

TÉCNICAS. Associação Brasileira de Normas - ABNT (NBR 13030) - **Coletânea de Normas de Mineração e Meio Ambiente**, Companhia Vale do Rio Doce, Rio de Janeiro, 1993.

AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE AMBIENTAL, TÉCNICA E ECONÔMICA DA ATIVIDADE DE EXTRAÇÃO DE ARGILA NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE- PB

Valter Cruz S. Junior¹, Mauro F. Meyer², Marcondes M. Souza³

¹ Valter Cruz Silva Júnior - Aluno do Curso de Mineração do IFRN (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte). E-mail: junin_valter@hotmail.com

² Mauro Froes Meyer - Professor do IFRN (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - Avenida Senador Salgado Filho, 1559, Tirol – Natal – RN – CEP: 59150-015

Fones: (084) 4005-9949 e (084) 9926-5330 E-mail:

mf.meyer@hotmail.com; mauro.meyer@ifrn.edu.br;

³ Marcondes Mendes de Souza - Professor do IFRN (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. E-mail: marcondes.souza@ifrn.edu.br

RESUMO:

O presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade ambiental, técnica e econômica de uma área localizada na Fazenda Lagoa de Dentro no Município de Campina Grande para extração de argila apresentando aqui a descrição das atividades de lavra, os equipamentos que serão utilizados, como também, focar os procedimentos que serão adotados com a finalidade de garantir a segurança operacional dos serviços de exploração mineral e preservação ambiental, visando exclusivamente, destinado ao mercado da construção civil, tal projeto ocupa uma área de 4 hectares. Os resultados parciais mostram que a atividade é altamente viável do ponto de vista ambiental, técnico e econômico e trará benefícios na geração de emprego e renda, assim como o fornecimento de insumos para a construção civil acima mencionado. A exploração de alguma forma vem provocar alterações no meio ambiente, entretanto, as medidas de controle ambientais buscarão mitigar os impactos decorrentes da atividade.

PALAVRAS-CHAVE: extração de argila, viabilidade ambiental, técnica e econômica.

ABSTRACT:

This study aims to analyze the environmental, technical and economic viability of an area located in the Farm Pond Within the city of Campina Grande for clay extraction presenting here the description of mining activities, the equipment to be used, as well, focus on the procedures to be adopted in order to ensure the operational safety of the mineral exploration and environmental preservation services targeted exclusively intended for the construction market, this project occupies an area of 4 hectares. Partial results show that activity is highly feasible, environmentally, technically and economically, and will benefit the generation of employment and income, as well as providing inputs for the aforementioned construction. Exploitation somehow comes cause changes in the environment, however, the environmental control measures seek to mitigate the impacts of the activity.

KEYWORDS : extraction of clay, environmental feasibility, technical and economic.

INTRODUÇÃO

A extração de minérios é, sem dúvidas, uma atividade indispensável à sobrevivência do homem moderno, dada a importância assumida pelos bens minerais em praticamente todas as atividades humanas. Nesse sentido fazem-se necessários estudos de viabilidade de ordem técnica, econômica e ambiental. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade ambiental, técnica econômica de uma área para extração de argila com 4,0 hectares localiza-se na Fazenda Lagoa de Dentro, município de Campina Grande - PB, de forma que a atividade seja desenvolvida de forma sustentável. No contexto geral, foram abordados os principais aspectos relacionados às atividades, tais como: preparação, desenvolvimento, lavra, transporte e impactos ambientais propondo reabilitação da área minerada.

Materiais e Métodos

A execução deste Estudo foi dividida pelas seguintes etapas: 1- Levantamento da legislação pertinente ao tipo de empreendimento; 2- mapeamento ambiental da área do empreendimento; 3- diagnóstico ambiental; 4- identificação e definição dos impactos ambientais e planos de controle ambiental destes; 5- estudo técnico e econômico da lavra e 6- Interpretação e discussão dos dados. Na etapa 1 foram consideradas as três esferas: Federal; Estadual e Municipal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO - DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

Definição das Áreas de Influência Direta e Indireta

O acesso à área do projeto, é feito partindo-se da cidade de Campina Grande, no sentido de Caruaru pela rodovia asfaltada BR-104 percorrendo-se aproximadamente 23 km até o posto fiscal de Galante, daí segue-se por uma estrada secundária por mais 2 km até o vilarejo de “Lagoa de Dentro” chegando-se ao local do projeto.

Nos trabalhos de campo observou-se que o terreno a ser explorado é atualmente destinado a atividades de pastagem de bovinos, em ambiente de expansão urbana. (Figura 01- Mapa de localização).

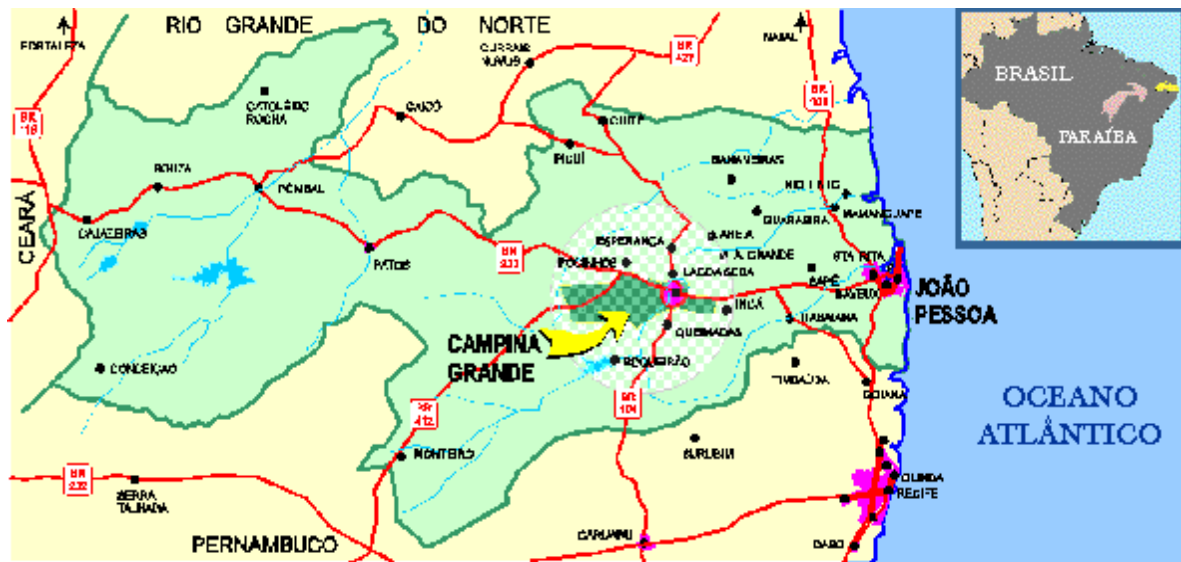


Figura 01 – Mapa de Localização.

Meio Físico: Geologia Regional:

Geologicamente à área estudada encontra-se em terrenos de idade quaternária. A jazida esta disposta sob forma de sedimentos tabulares totalmente expostos e com capeamento formado pelo solo agrupadas sob a denominação de Complexo Gnáissico-Migmatítico e rochas sedimentares Cenozóicas representadas por Paleocascalheiras e pelo Grupo Barreiras.

Geologia Local

O recurso mineral explorado constitui de sedimentos originados pelo processo de intemperismo de outras rochas e que pelo processo de carreamentos de partículas sólidas, formando tabuleiros, são utilizados diretamente na construção civil no preparo de argamassas. Os rejeitos (estéril) resultantes destas atividades mineiras são originados basicamente do

capeamento, que não foram possíveis aproveitá-los, de acordo com as qualidades estabelecidas pelo mercado consumidor.

Estes produtos serão estocados em área pré-determinada, de maneira tal que não venham causar problemas de movimentação de equipamentos e pessoas, conforme apresentada no mapa de zoneamento ambiental. A Argila “massame” está classificada segundo o Código de Mineração, de mineral da classe II, sendo estes bens explorados sob concessão.



Figura 02 – Característica litológica do terreno a ser lavrado.

Meio Biológico

A flora da área a ser explorada apresenta-se bastante alterada e antropizada no local, os adensamentos existentes são espaçados formando estratos herbáceo e arbustivo em estágio inicial de sucessão.



Figura 03 – Característica da vegetação da área a ser lavrada.

A vegetação existente no interior da jazida encontra-se bastante descaracterizada, podendo ser encontrado espécies nativas em início de sucessão remanescente dos tabuleiros Costeiros.

Na parte sul da jazida ocorre uma extensa plantação de coqueiros, a vegetação suprimida juntamente com o solo decapeado, deverá ser empilhado no entorno da área, para posterior utilização dos procedimentos do PRAD. Inexistem recursos hídricos no interior da área e adjacências da jazida.

Impactos Ambientais e Plano de Controle Ambiental

A atividade de extração de cascalho possui as seguintes implicações: desmatamento; alteração da superfície topográfica e da paisagem; perda de solo; alterações dos corpos d'água; erosão; assoreamento; ruídos; poeiras e vibrações; além da destruição da microfauna e afastamento da macrofauna. Os impactos ambientais positivos envolvem a demanda de bens e serviços, geração de impostos e de postos de trabalho.

Logo, a recuperação da área estar sendo considerada como uma atividade inerente ao próprio ato de minerar, ou seja, os trabalhos de recuperação estão sendo realizados concomitantes com os de operação das frentes de lavra, e não somente por ocasião da desativação das mesmas. Com tal procedimento evita-se os estados de degradação acentuados, reduzindo assim as ações corretivas complexas e de alto custo.

Plano de Recuperação de Área Degradada

A recuperação ambiental de uma área degradada tem como objetivo principal o retorno da área a uma forma de utilização, de acordo com um planejamento para o uso do solo, visando a obtenção de uma estabilidade harmônica do meio ambiente. Assim, uma vez encerradas as atividades de lavra, deverão ser tomadas medidas visando, na medida do possível, o retorno da área às condições originais, pretéritas aos trabalhos de lavra.

DADOS TÉCNICOS DAS ATIVIDADES DE EXTRAÇÃO DE ARGILA - ÁREA DE LAVRA, RECURSO E RESERVA MINERAL

Levando em consideração o comportamento superficial dos depósitos estudados, observa-se que o capeamento existente é composto basicamente de solo. A remoção do capeamento "solo" e o seu armazenamento serão feitos em uma área bem próximos, e demarcada no mapa de

zoneamento ambiental, pois a mesma será de grande valia na utilização do uso futuro da área a ser recuperada.

Tendo em vista a disposição da jazida, o método de lavra á céu aberto ser adotado, isto em virtude desta exigir metodologia simples e, baixos investimentos em equipamentos e desenvolvimento. A operação consiste na remoção do capeamento e em seguida a retirada do material.

Após o decapeamento, iniciará a atividade de lavra, utilizando equipamento de retro-escavação, carregando-se simultaneamente as caçambas, que transportam o material para trechos a serem utilizados ao longo da obra. Em cada fase da operação de lavra, serão executados os seguintes procedimentos específicos para minimizar os impactos ao meio ambiente.



Figura 04 – Configuração da jazida a ser lavrada.

Método de Lavra

Tendo em vista a disposição da jazida, o método de lavra á céu aberto ser adotado, isto em virtude desta exigir metodologia simples e, baixos investimentos em equipamentos e desenvolvimento. A operação consiste na remoção do capeamento e em seguida a retirada do material. Quanto à metodologia de lavra para a Argila “massame” a técnica recomendada poderá ser a do método de lavra em cava. O processo de exploração será efetuado de forma mecanizada, envolvendo as seguintes etapas (Figura 5).



Figura 5 – Etapas de exploração da Argila.

Desmonte, Carregamento e Transporte

A área definida para instalação de uma frente de lavra apresenta condições topográficas favoráveis, facilitando expressivamente os trabalhos para o deslocamento de pessoal e produção. A remoção do material a ser lavrado (produto e rejeitos) será realizada por meio de pá mecânica, sendo este também utilizado para a limpeza da praça de lavra. Os trabalhos de lavra para uma produção média anual de 1500 m³, ocupa uma área de total de 20,0 ha e será realizado em um setor.



Figura 6 – Equipamentos utilizados para extração de Argila.

Avaliação Econômica - Escala de Produção:

Mão-de-obra e Regime de Trabalho

Para a execução e realização dos trabalhos de lavra serão empregados inicialmente 3 (três) pessoas distribuídas conforme quadro abaixo:

QUALIFICAÇÃO	QUANTIDADE
Auxiliar de Campo	02

Operador de máquina	01
Total	03

A jornada de trabalho a ser implantada será de apenas um turno (diurno), com oito horas de trabalho diário, durante cinco dias úteis por semana e uma média mensal de vinte e dois dias úteis. Todos os funcionários receberão treinamentos específicos para as respectivas funções, incluindo curso de Prevenção de Acidentes e Uso Correto de EPI's, com o objetivo de qualificá-los, mediante critérios pertinentes dispostos na CLT vigente. A área em apreço tem como objetivo principal, a lavra céu aberto de saibro, para fins da indústria da construção civil.

A jazida de argila é de pequeno porte, conseqüentemente o respectivo empreendimento. As medidas mitigadoras propostas, aliadas com as de recuperação, serão instrumentos de controle, proteção e minimização dos impactos provocados ao meio ambiente, decorrentes das atividades do empreendimento.

CONCLUSÕES

O crescente consumo da construção civil nos últimos anos, favoreceu à procura dos depósitos de Argila "massame", nas proximidades do mercado consumidor. Neste contexto, a Argila "massame" do Sítio Lagoa de Dentro no Município de Campina Grande atende perfeitamente as exigências da região. Neste sentido, acredita-se que é perfeitamente viável a execução deste projeto, sem provocar danos irreparáveis ao meio ambiente, principalmente pela pequena área ocupada pelas atividades.

Considerando-se que a exploração destes bens minerais, proporcionará, sobretudo ao município, atrair o mercado da construção civil, que hoje depende do fornecimento de outras regiões, aumentar o nível de emprego na região e arrecadação de tributos. Neste sentido, acredita-se que é perfeitamente viável a execução deste projeto, sem provocar danos irreparáveis ao meio ambiente.

Nas medidas de controle e recuperação da área, foram apresentadas técnicas simples e perfeitamente adequadas a estes tipos de atividades mineiras, no sentido de direcionar o desenvolvimento das lavras, de forma que ocorra a perfeita compatibilização entre exploração mineral versus meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

CONAMA, Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 01, de 18 de junho de 1986, Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 1986.

BANCO DO NORDESTE. (1999) – Manual de Impactos Ambientais. Banco do Nordeste. Fortaleza, 86 p.

IBGE. (2000) - Informativo Municipal das Cidades do RN, 1 CD - ROM.

LEOPOLD, L.B.; CLARK, F.E.; HANSHAW, B.B. & BALSLEY, J.R. (1971) - A procedure for Evaluating Environmental Impact. U.S. Geological Survey Circular, n. 645. Washington D.C.: Dep. of Interior.

RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS – ESTUDO DE CASO: ARMIL MINERAÇÃO DO NORDESTE LTDA

Vânia Maria da Silva Santos 1¹, Ilana Maria da Silva Santos 2², Mauro Froes Meyer 3³

¹ Estudante do curso técnico de mineração, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN – RN)

² Estudante do curso técnico de mineração, IFRN (Campus Natal- Central)

³ Coordenador do curso técnico de Mineração, IFRN (Campus Natal – Central)

E-mail: ilanamariass@hotmail.com

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar os impactos ambientais causados pelas atividades realizadas na empresa ARMIL Mineração do Nordeste, bem como as medidas adotadas para a recuperação da área degradada. Através da visita realizada a empresa, situada no município de Parelhas/ RN, foi constatado que esta dispõe de um viveiro de plantas características da região, o qual está em fase de ampliação buscando assim evidenciar as políticas de gestão ambiental trabalhadas na empresa ARMIL em parceria com o IFRN.

PALAVRAS-CHAVE: RAD, ARMIL e IFRN.

ABSTRACT

This study aims to analyze the environmental impacts of activities in the company Armil Northeast Mining, and the measures adopted for the recovery of degraded areas. Through the visit held company, located in the municipality of Parelhas / RN revealed that she has the characteristics plant nursery in the region, which is in expansion phase thus seeking to highlight the environmental management policies worked in Armil company in partnership with IFRN.

KEYWORDS: RAD, ARMIL e IFRN.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como objetivo analisar os impactos ambientais causados pelas atividades realizadas na empresa Armil Mineração do Nordeste, bem como as medidas adotadas para a recuperação da área degradada. Através da visita feita a empresa, situada na cidade de Parelhas / RN, foi constatado que esta dispõe de um viveiro de plantas características da região, o qual está em fase de ampliação.

2. OBJETIVOS

Esse trabalho busca evidenciar e avaliar a recuperação de áreas degradadas a essa atividade e os métodos de gestão e mostrar as principais áreas de extração de areia do Rio Grande do Norte e seus respectivos passivos ambientais na ARMIL Mineração.

3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

A recuperação de áreas degradadas por mineração geralmente envolve diversos agentes, tais como o minerador, o poder público, a comunidade e o proprietário do terreno. Geralmente, uma área de mineração apresenta impactos negativos que são permanentes, como no caso do relevo do terreno, que na grande maioria das vezes, não retorna à sua configuração original. Neste contexto, a reabilitação da área, dando um novo uso para ela, se torna necessária.

Portanto, o planejamento ou programa prévio de recuperação é benéfico tanto para a comunidade, poder público e proprietário do terreno, como para o minerador, que conduzirá suas atividades e o desenvolvimento da lavra, de acordo com o previsto no programa de recuperação, economizando tempo e dinheiro. Surgem destas observações dois termos muito empregados na recuperação de áreas degradadas.

4. DESENVOLVIMENTO

As mudas que compõem o viveiro são compradas e ficam sob os cuidados de um botânico terceirizado. Posteriormente, ocorre a revegetação das áreas de extração. Também pôde-se observar que o único forno utilizado pela empresa é alimentado com madeira de poda de cajueiros da região.

4.1 Reabilitação orientada de acordo com plano prévio

Com base em decisões expressas em documento previamente discutido, negociado e definido entre minerador, poder público e comunidade diretamente envolvida, incluindo o proprietário do solo (Proin/Capes & Unesp/IGCE, 1999).

4.2 Recuperação simultânea à extração

Corresponde à incorporação de técnicas disponíveis nas várias etapas que compõem a mineração. Objetiva aglutinar o conceito de recuperação ao cotidiano da mineração, não se limitando ao final da atividade de extração, o que geralmente dificulta - ou até inviabiliza - financeira e logisticamente a recuperação da área (Proin/Capes & Unesp/IGCE, 1999).

A recuperação simultânea à lavra é amplamente aplicada principalmente em minerações de grande e médio portes, por facilitar o desenvolvimento da lavra, e principalmente por razões de ordem econômica e legal. Muitas minerações de pequeno porte realizam seus planos de recuperação somente no papel, porém, a falta de uma decisão de implantar realmente o plano, a ausência de profissionais qualificados no quadro de empregados da mineração, etc, muitas vezes prejudicam a recuperação simultânea, raramente sendo realizada.

A figura a seguir apresenta as etapas básicas da recuperação simultânea à extração (modificado de Bitar & Braga, 1995).

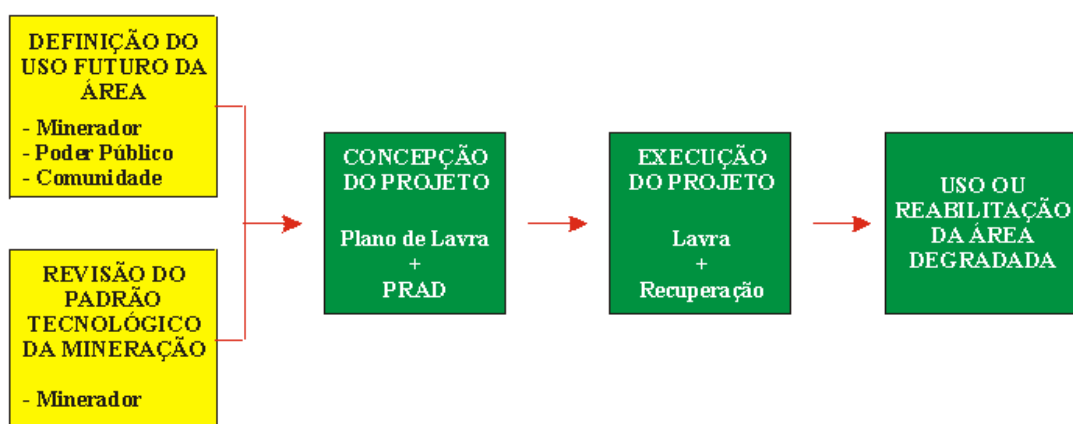


FIGURA 1 – Etapas de uma recuperação simultânea.

Na recuperação simultânea à extração, tem-se que primeiramente definir o uso futuro que a área será destinada, que deve levar em conta o Plano Diretor Municipal, as intenções do proprietário do terreno e a viabilidade econômica do projeto.

A comunidade interagirá na definição de uso futuro do solo quando da audiência pública, no caso de empreendimentos mineiros que tem exigência de elaboração de EIA/RIMA, sendo que o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) deve ser englobado no EIA/RIMA. O minerador terá de adequar suas atividades e o desenvolvimento da mina de acordo com o programa de recuperação. Portanto, o PRAD deve ser inserido ao Plano de Lavra e no dia-a-dia da mineração.

Neste contexto, a execução do projeto é simultânea à lavra, com todas as atividades integradas à recuperação, para que a reabilitação dessas áreas esteja praticamente pronta à medida que as frentes de lavra são desativadas. Tal procedimento assegura que o custo da recuperação seja diluído ao longo da atividade de extração.

Se esse procedimento for adequadamente executado, ao final das atividades de extração (exaurida a jazida), a área estará totalmente reabilitada para o uso anteriormente definido.

4.3 A empresa

A ARMIL MINERAÇÃO encontra-se inserida no centro da Província Pegmatítica da Borborema, estrategicamente instalada, fica equidistante das maiores reservas de minerais pegmatíticos da região, facilitando o seu abastecimento de matéria prima no tocante a qualidade e quantidade necessárias para atender a demanda dos seus clientes.

A Armil Mineração com jazidas cubadas nos Estados do R. G. do Norte (feldspatos, albita, quartzo), Paraíba (feldspatos, albita, quartzo), Ceará (filito) e Piauí (argilas), que garantem o fornecimento de matérias primas às plantas de beneficiamento da Armil.

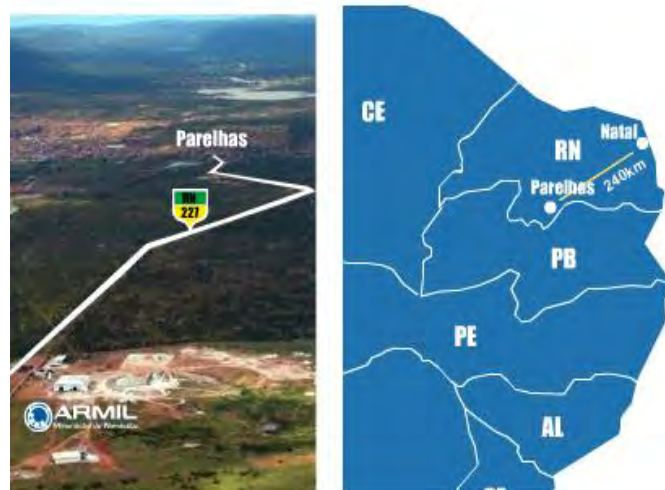


Figura 2 – Mapa de Localização da Empresa



Figura 3 - Vista da jazida da área do empreendimento.

4.4 Recuperação de áreas degradadas (RAD)

A recuperação de determinada área degradada por um determinado empreendimento, pode ser definida como o conjunto de ações necessárias para que a área volte a estar apta para algum uso produtivo em condições de equilíbrio ambiental.

Dentro desse contexto, a recuperação das áreas e seu monitoramento aparecem como ferramenta importante para a minimização dos impactos citados e, em alguns casos, pode melhorar a qualidade do ambiente em relação às condições anteriores ao empreendimento.

Finalidade da RAD:

A área recuperada deve apresentar estabilidade física e química, podendo ser utilizada para novos fins.

Objetivos da RAD:

- Aspectos estéticos e paisagísticos;
- Aspectos turísticos e históricos;
- Recuperação econômica plantas medicinais, madeireiras, ornamentais, frutíferas;

- Atendimento a aspectos legais;
- Certificação ambiental.



Figura 4: Vista das mudas criadas em viveiros da empresa.



Figura 5: Plantio das mudas e preparação do terreno.

5. CONCLUSÃO

Por fim, através do presente trabalho, foi possível diagnosticar as principais áreas de recuperação de áreas degradadas e avaliar os impactos ambientais inerentes a essa atividade, que é potencialmente poluidora e sujeita a várias ferramentas de gestão ambiental. A escolha das espécies para esta recomposição vegetal foi realizada através de estudos que indicaram as leguminosas e as gramíneas como as melhores adaptadas a este tipo de trabalho.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BACKER, Paul. GESTÃO AMBIENTAL. A ADMINISTRAÇÃO VERDE. Qualitymark Editora. Rio de Janeiro-RJ. 1995. p. 01 16 e 145-173.

BITAR, O.Y. *Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na RMSP.* São Paulo, 1997. Tese Doutorado, Departamento de Engenharia de Minas, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

BRASIL, Relatório do. Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento: O BRASIL E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Presidência da República de Brasil. Brasília-DF. Dez. 1991. p. 15-38.

BURSZTYN, M.A.A. GESTÃO AMBIENTAL: INSTRUMENTOS E PRÁTICAS. FUNCEP. Brasília, 1991.

MARCADORES E ESTÁGIOS DE DEFORMAÇÃO COM DETERMINAÇÃO DO BLOCO DE PARTIÇÃO EM PEDREIRAS NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE

*Alfredo César Vale de Araújo¹, Evenildo Bezerra de Melo²,
Márcio Luiz S. de Campos Barros³, Felisbela M. da costa oliveira⁴*

¹ Professor Msc, Universidade Federal de Pernambuco

² Professor Dr., Universidade Federal de Pernambuco

³ Professor Dr., Universidade Federal de Pernambuco

⁴ Professora Dra., Universidade Federal de Pernambuco

cesarvale_araujo@hotmail.com

RESUMO

A alta demanda das atividades de construção civil no estado de Pernambuco vem, cada vez mais, solicitando da região, matéria prima para continuidade de tal progresso. Dentre os principais componentes que fazem a economia e o setor da construção fluir, está a produção de agregados para a construção civil. A extração dessa matéria prima é efetivada após trabalhos de pesquisas que vão ser fundamentais para o planejamento de lavra. Dentre eles está o levantamento geológico, cuja metodologia é importante por indicar a análise estrutural do maciço rochoso e consequente distribuição das tensões. Centrada na análise das estruturas do maciço rochoso, a deformabilidade indicará a distribuição das tensões que governa tal comportamento. Grande parte dessa deformabilidade depende da descontinuidade da rocha ocasionada por suas tensões principais. Neste contexto, um maciço rochoso caracteriza-se por apresentar descontinuidades, constituindo assim Blocos Discretos, que possuem propriedades de uma rocha intacta. Por rocha intacta entendemos que são rochas com ausência de descontinuidades. A compreensão dessas definições leva a concluir que os principais fatores que controlam a resistência mecânica e a deformabilidade de um maciço rochoso são as descontinuidades, que também tem sua utilidade para otimizar as superfícies alongantes, levantantes e trincantes na lavra de blocos de partição, em pedreiras de rochas ornamentais, porém, também sendo uma ferramenta de otimização para desmonte de rocha com explosivos em pedreiras. Levando em consideração as propriedades geomecânicas do maciço, que incluem o conhecimento das propriedades de rocha intacta, da

ocorrência e natureza das descontinuidades, da extensão e do grau de alteração, da posição espacial das descontinuidades e dos marcadores de deformação (sigmóides, *boudins* e fraturas de Riedel), focamos a pesquisa nos itens que caracterizam os marcadores de deformação, bem como na identificação dos blocos de partição nos maciços avaliados em pedreiras na Região Metropolitana do Recife em Pernambuco.

PALAVRAS-CHAVE: Marcadores de deformação, Pedreiras, Descontinuidades, Bloco de partição.

ABSTRACT

The high demand of construction activities in the state of Pernambuco has been increasingly requesting the region, raw materials for continuity of such progress. Among the main components that make the flow of the economy and construction sector are the production of aggregates for the construction industry. The extraction of this raw material is effected after deep research that will be critical to the mine planning. Among these is the geological survey whose methodology is important for indicating the structural analysis of the rock mass and the resulting stress distribution. Focused on analyzing the structures of the rock mass, the deformability indicates the stress distribution that governs such behavior. Much of this depends on deformability of rock discontinuity caused by his principal stresses. In this context, a rock mass is characterized by intermittently and, thus Discrete blocks, which have properties of an intact rock. For intact rock understand that they are rocks with no discontinuities. Understanding these definitions leads to the conclusion that the main factors that control the strength and deformability of a rock mass are the discontinuities, which also has its utility to optimize “alongantes” surfaces, “levantantes”, “trincantes” and the mining of partition blocks in quarries ornamental, but also being a tool of optimization for rock blasting with explosives in quarries. Taking into account the geomechanical properties of the massif, including the knowledge of the properties of intact rock, the occurrence and nature of discontinuities, the extent and degree of change, the spatial position of the discontinuities and markers of deformation (sigmoid, *boudins* and Riedel fractures), we focused our research on the items that characterize markers of deformation as well as the identification of partition blocks in massive quarries evaluated in the Metropolitan Region of Recife in Pernambuco.

KEYWORDS: markers deformation, quarries, discontinuities, partition block.

1. INTRODUÇÃO

Num maciço rochoso existem diversos tipos de tensões em atuação, sendo elas de origem naturais (“in situ”) ou induzidas. As naturais são divididas em gravitacionais, tectônicas, residuais ou terrestres. As tensões induzidas são as causadas de forma antrópica através de obras de engenharia, tendo com exemplo escavações ou construções (HOEK e BROWN, 1994).

Ao se realizar obras mineiras o estado de equilíbrio da rocha é alterado (MIOTO e COELHO, 1998) gerando uma necessidade de instalação de sistema de suporte a fim de evitar danos à estabilidade do corpo rochoso e assim reforçar a estrutura do local.

As obras, cujas atividades mineiras estão presentes, se deparam com certas dificuldades que se resumem aos custos existentes com o uso de materiais para o desmonte do maciço e, também, à segurança da estabilidade dos taludes formados no maciço. Por isso, muitas vezes o subdimensionamento ou o superdimensionamento podem vir a causar gastos excessivos e colocar em risco a segurança da obra com estabilidades deficientes nos taludes.

Portanto, há uma necessidade de se determinar previamente as tensões envolvidas e o estágio de deformação alcançado a fim de reduzir os custos e os riscos relacionados às obras mineiras. Uma metodologia eficaz em tal processo é a avaliação do estágio alcançado, analisando os marcadores de deformação em maciços rochosos, estrutural e petrograficamente. Objetiva-se ter o conhecimento de propriedades e elementos vinculados aos esforços naturais atuantes, os quais associados aos fatores exógenos, característicos do meio ambiente, permitirão uma compreensão do comportamento estrutural do maciço e do consequente estágio de deformação por ele alcançado.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo fazer a análise estrutural de um maciço rochoso que constitui uma ferramenta de fundamental importância no planejamento da lavra em maciços rochosos. O estudo dos marcadores de deformação (Sigmóides, *Boudins* e Fraturas de Riedel). consiste em analisar a intensidade da presença dos mesmos, bem como a frequência de suas fraturas pelo método de Palmström (1982), para identificação do estágio de deformação que será de utilidade em otimizar sua extração através do processo de lavra em pedreiras para produção de agregados, bem como seu bloco de partição, adicionando assim uma variável à sua cadeia produtiva.

3. METODOLOGIA

A metodologia compreendeu três etapas: primeiramente uma pesquisa de campo, que foi realizada em duas pedreiras da região metropolitana do Recife, Polimix e Mineração Aurora; a segunda consistiu na coleta de dados, incluindo um levantamento bibliográfico com assuntos relacionados ao tema abordado, e em terceiro a interpretação dos dados adquiridos. Os resultados desta pesquisa tiveram como objetivo elaborar uma metodologia que facilitasse e elevasse a eficácia dos métodos de lavra usados atualmente nas pedreiras.

A condução e realização desta etapa da pesquisa observaram primeiramente a questão da segurança, pois os locais (as frentes de lavra) se encontravam em plena atividade. Os dados foram coletados utilizando uma trena (para medir o comprimento e detalhar o *Scan Face* do talude em estudo), uma bússola (utilizada para medir o sentido, mergulho e direção, das bancadas e fraturas), uma caderneta de campo (para registrar por escrito os dados e demais informações coletadas em campo), GPS (para localização em UTM do ponto estudado) e uma máquina fotográfica (para registro fotográfico das bancadas, fraturas e marcadores de deformação presentes em cada frente de lavra).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Scan Face

O Scan Face é um método utilizado para mapear as descontinuidades presentes em maciços rochosos. O espaçamento, ou frequência, das descontinuidades é determinado em termos da distância média entre as descontinuidades, sendo as distâncias tomadas geralmente ao longo de linhas de varredura. A frequência (f_d), expressa em número de juntas por metro de linha de varredura, pode ser definida por:

$$f_d = N/L \quad (1)$$

Onde N é o número de traços de descontinuidades intersectadas pela linha de varredura e L é o comprimento da linha de varredura, em metros.

O espaçamento médio (E_d), ou a distância média entre as descontinuidades, é igual ao inverso da frequência f_d , e é expresso pela relação:

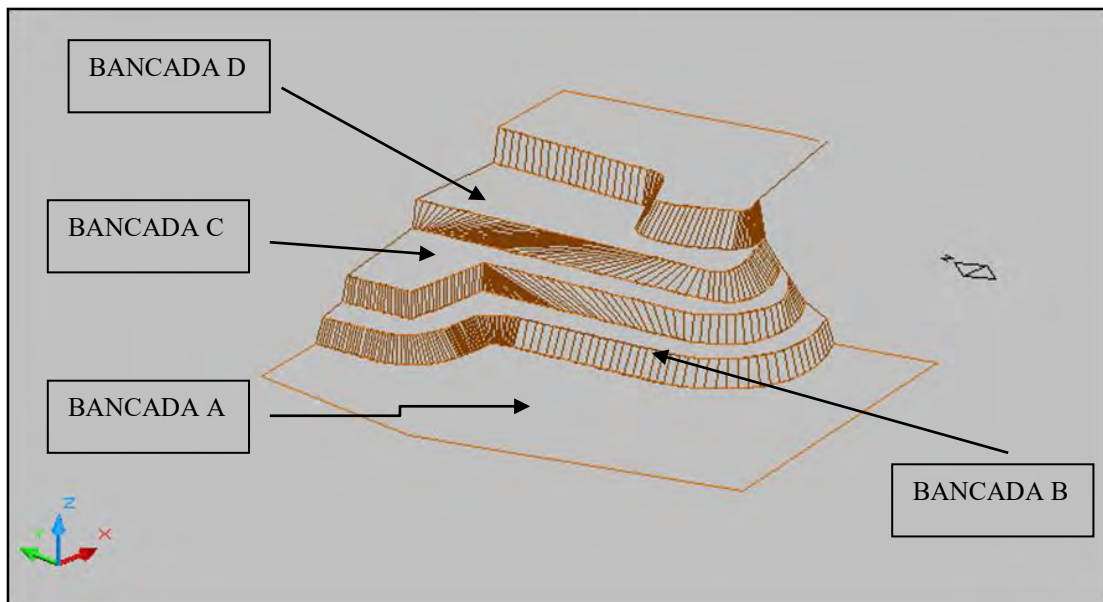
$$E_d = 1/f_d \quad (2)$$

O espaçamento, ou frequência de juntas, não é necessariamente constante por todo o maciço rochoso para um dado conjunto de juntas. De um modo geral, as juntas apresentam espaçamento regular ou aleatório, ou apresentam uma distribuição em agrupamento. A tabela 1, idealizada pela *International Society for Rock Mechanics Commission on Standardization of Laboratory and Field Test (ISMR)*, mostra uma classificação do espaçamento médio entre descontinuidades.

Tabela 1. Classificação do espaçamento médio das descontinuidades (ISMR, 1983).

DESCRIÇÃO	ESPAÇAMENTOS
Extremamente próximas	< 20 mm
Muito próximas	20 – 60 mm
Próximas	60 – 200 mm
Moderadamente afastadas	200 – 600 mm
Afastadas	600 – 2000 mm
Muito afastadas	2000 – 6000 mm
Extremamente afastadas	> 6000 mm

Nos locais de coleta dos dados para o devido trabalho foram feitas medições com *Scan Face*, sendo uma na pedreira Polimix e três na Mineração Aurora. A ilustração das figuras 2 e 3 , e o tabela 1, mostram as informações pertinentes à metodologia de mapeamento aplicada.

**Figura 2:** Ilustração das frentes de lavra na pedreira Mineração Aurora

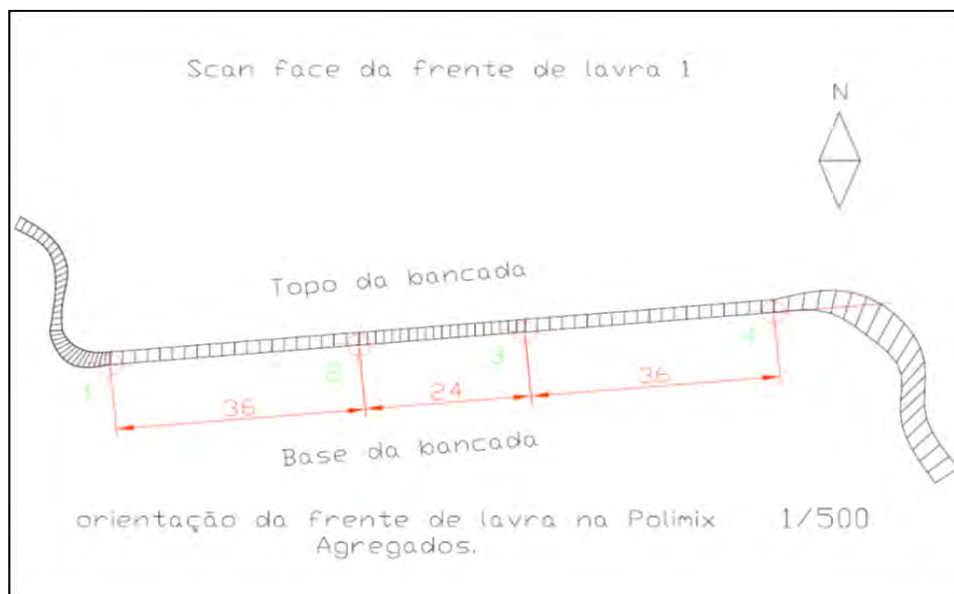


Figura 3: Scan Face da bancada da Polimix Agregados.

Tabela 1: Dados contendo as atitudes da bancada da Polimix Agregados.

Ponto (m)	Fratura	Direção	Mergulho	Distância (d)	Frequência (f)	Estágio Reológico
0 - 30	1	73/253 Az	54/163 Az	≥5 cm	4/m	frágil rúptil
	2	75/257 Az	15/347 Az	≥20 cm	3/m	frágil dúctil
	3	40/220 Az	22/310 Az	≥10 cm	4/m	frágil rúptil
	4	160/340 Az	30/250 Az	≥15 cm	2/m	frágil dúctil
	5	35/215 Az	69/125 Az	≥5 cm	4/m	frágil rúptil
	6	10/190 Az	67/280 Az	≥20 cm	3/m	frágil dúctil
30 - 60	7	65/245 Az	50/155 Az	≥15 cm	2/m	frágil dúctil
	8	165/345 Az	70/255 Az	≥10 cm	4/m	frágil rúptil
	9	70/250 Az	50/160 Az	≥20 cm	3/m	frágil dúctil
	10	85/265 Az	50/175 Az	≥10 cm	6/m	frágil rúptil
	11	165/345 Az	70/255 Az	≥5 cm	4/m	frágil rúptil
	12	150/330 Az	30/240 Az	≥10 cm	4/m	frágil rúptil
	13	105/295 Az	25/205 Az	≥10 cm	5/m	frágil rúptil
	14	160/340 Az	73/70 Az	≥20 cm	3/m	frágil dúctil
	15	50/230 Az	59/320 Az	≥5 cm	4/m	frágil rúptil
60 - 72	16	20/200 Az	84/290 Az	≥5 cm	4/m	frágil rúptil
	17	60/240 Az	57/150 Az	≥10 cm	5/m	frágil rúptil
	18	65/245 Az	82/155 Az	≥10 cm	6/m	frágil rúptil
	19	155/335 Az	60/245 Az	≥10 cm	5/m	frágil rúptil
	20	180/360 Az	vertical	≥5 cm	7/m	frágil rúptil

De acordo com a interpretação dos dados obtidos no tabela 1, levou-se a conclusão que a bancada explorada apresenta uma reologia frágil dúctil em seu início e frágil rúptil à medida que avança os pontos de estudo do *Scan Face*.

4.2 Projeções Estereográficas

No item proposto foram interpretadas, com o uso da rede de *wulf*, algumas das medições feitas em campo com o auxílio do Autocad 2007, o que facilitou a visualização da

compreensão dos dados coletados nas bancadas das pedreiras Polimix Agregados e Mineração Aurora (figura 4 e 5 e a tabela 2).

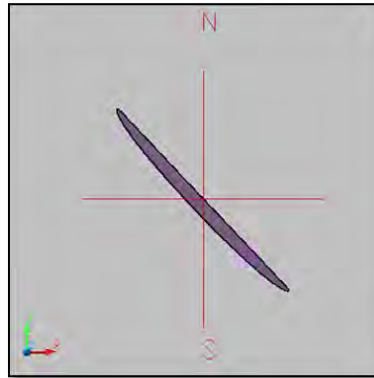


Figura 4: Projeção estereográfica da figura 6.



Figura 5: Ilustração das superfícies trincante de uma fratura na frente de lavra da bancada D, Mineração Aurora.

Tabela 2: Atitudes da fratura, na figura 54.

direção	135-315 Az
mergulho	80
frequência	1/m
estágio de formação	ductil

4.3 Blocos de Partição nas Pedreiras

O bloco de partição é uma forma prismática composta por estruturas planares (planos de fraqueza), em sua maioria, irregulares que são identificadas pelos planos de “corrida” ou “alongante”, “trincante” ou de “corte” e os planos do “segundo” ou “alongante”. O bloco de partição primário (quadrote), quando possível, é norteado pela existência de planos naturais de

fraqueza das rochas, procedimento este que traz facilidades operacionais e minimização de custos. Neste sentido, planos configurados por foliações, laminações ou fraturas são os mais fáceis para as operações de corte. Constituem os chamados planos de “corrida” ou “alongante” das rochas. As faces longitudinais principalmente associadas à base dos blocos, por sua vez, são comumente definidas como planos do “segundo” ou de “levante”, enquanto os planos pertinentes às faces transversais aos de corrida; relacionados à menor dimensão do bloco e considerados de maior dificuldade de corte, os planos de “trincante”, como mostram as figura 6.

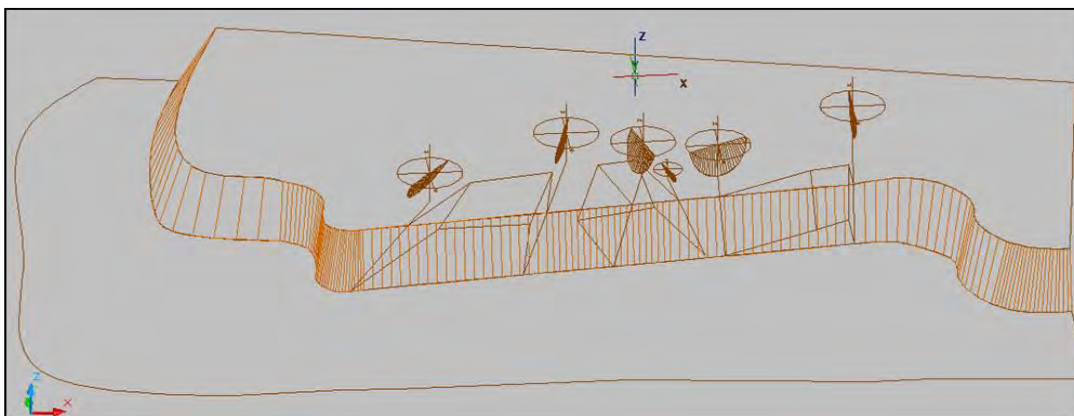


Figura 6: Visão dos blocos de partição com suas respectivas projeções, Polimix Agregados.

5. CONCLUSÕES

Na pesquisa feita para desenvolvimento do trabalho, o foco principal foi o estudo dos elementos estruturais que, auxiliados pelos levantamentos de dados e interpretação dos mesmos, agregassem um conjunto de informações para obtenção do bloco de partição em maciços rochosos e com isso desenvolver uma melhor visão para otimizar a lavra em pedreiras para produção de agregados, bem como algumas obras de construção civil, levando em consideração a análise das fraturas presentes. Em resumo, alguns pontos foram colocados como conclusão na área de aplicação. Esses pontos foram:

- Ao caracterizar os maciços, segundo levantamento dos marcadores de deformação encontrados, pode-se a partir dos dados obtidos dimensionar um plano de fogo que otimize melhor sua eficiência.

- A pesquisa mostra que a contribuição dos dados adquiridos, podem ser utilizados nas operações de determinação dos blocos de partição em lavras a céu aberto, tanto para rochas ornamentais quanto para produção de agregados.
- O estudo feito, para determinação do bloco de partição, mostra que as orientações das superfícies trincantes, levantantes e alongantes também são úteis para classificar os em regulares ou irregulares.
- O levantamento feito com o método de Palmström (1982) com a linha de varredura, leva ao diagnóstico de que quanto maior o número de blocos de partição registrados, menor a eficiência do explosivo utilizado para desmonte, pois a propagação de impacto promovida pelo mesmo pode vir a reduzir a sua força quando iniciar sua passagem pelas aberturas entre as superfícies planares trincantes (superfícies trincantes), efeito esse conhecido como “fuga”.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, A.C.V, 2014. **Marcadores de Deformação com Determinação do Bloco de Partição em Pedreiras na Região Metropolitana do Recife.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco/Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral. Recife, Pernambuco. Brasil.

BEER, P. F; RUSSELL JOHNSTO Jr., E. **Resistência dos materiais. 3º Edição.** São Paulo: Editora Pearson Makron Books, 1995. 1255 p.

FIORI, A.P. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas. Aplicações na estabilidade de taludes. 2º Edição revisada e ampliada.** Paraná: Editora UFPR, Oficina de textos, 2009. P 438-439.

MENEZES, G. R. **Curso de especialização em tecnologia e valorização em rochas ornamentais. Tecnologias de lavras em maciços rochosos.** 2005. 48 f. Monografia – Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2005.

TRATAMENTO DE MINÉRIOS APLICADO AOS RESÍDUOS DE QUARTZITOS DA REGIÃO DO SERIDÓ PARAIBANO PARA POSSÍVEIS UTILIZAÇÕES NA INDÚSTRIA CERÂMICA

Pedro Henrique Fortes Balbys de Arruda¹, Defsson Douglas de Araújo Ferreira², Adriana Lemos Porto³

¹ Discente, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – *campus* Campina Grande

² Discente, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – *campus* Campina Grande

³ Docente, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – *campus* Campina Grande
defsson@hotmail.com; defssonifpb@gmail.com.

RESUMO

Um dos problemas enfrentados pela indústria de extração e beneficiamento de rochas ornamentais no Brasil é a poluição do meio ambiente, causado pela disposição irregular dos rejeitos provenientes desta atividade, na qual podemos destacar o pó decorrente do processo de beneficiamento e os fragmentos de rochas decorrentes da própria extração do material, que na maioria das vezes são descartados na forma de pilhas. Estes resíduos podem contaminar rios, açudes, e até mesmo os reservatórios naturais de água, pois eles são lançados no ecossistema sem nenhum tratamento prévio, podendo comprometer a fauna e a flora da região. Além disso, esse impacto socioambiental pode acarretar consequências negativas para a empresa, tais como: problemas com a população circunvizinha, pagamento de multas e suspensão das atividades. Nesse sentido, existem estudos que visam o processamento e aplicação de resíduos de quartzitos, provenientes de serrarias do Seridó Paraibano, como material não plástico em argamassas, como complemento, ou até mesmo substituição da proporção de sílica na fabricação desses materiais. O tratamento de minérios faz parte do processo de adequação granulométrica dos resíduos de quartzitos para sua correta aplicação na indústria cerâmica que, de acordo com a Norma Técnica NBR – 7211, de maio de 1983, a granulometria exigida tem que se apresentar abaixo de 0,300 mm. O comportamento dos materiais no processo de cominuição está diretamente associado à sua composição química e mineralógica. Foram realizados ensaios de britagem, moagem e peneiramento de amostras de rejeitos de quartzitos do Junco do Seridó, diferenciadas pelas colorações dourada e rosa. O objetivo da pesquisa foi determinar qual variedade de resíduo de quartzito apresenta melhores resultados quando submetido à ensaios de britagem e, principalmente, moagem. Assim, os resultados mostram que a britagem foi satisfatória, pois apresentou em média aproximadamente 34% do material com granulometria de 0,300 mm. Além

disso, foi verificada que o resíduo de quartzito dourado, quando comparado ao rosa, apresentou maior redução granulométrica após os ensaios de moagem.

PALAVRAS-CHAVE: resíduos, quartzito, indústria cerâmica.

ABSTRACT

One of the problems faced by the mining industry and ornamental rocks processing in Brazil is the environmental pollution caused by irregular disposal of waste from this activity, in which we can highlight the resulting powder beneficiation process and rock fragments resulting from extracting the material itself, which most often is discarded in the form of batteries. These residues can contaminate rivers, dams, and even the natural water reservoirs, as they are thrown into the ecosystem without any prior treatment and may compromise the fauna and flora of the region. In addition, the environmental impact can have negative consequences for the company, such as problems with the surrounding population, payment of fines and suspension of activities. In this sense, there are studies that focus on processing and application of quartzite waste from sawmills Paraíba Seridó, as no plastic material in mortars, as a complement, or even replace the proportion of silica in the manufacture of these materials. The treatment of ores is part of the grading process of adaptation of quartzite waste for its correct application in the ceramic industry that, according to Technical Standard NBR - 7211, May 1983, the required particle size has to report below 0.300 mm . The behavior of materials in the comminution process is directly related to its chemical and mineralogical composition. crushing tests were carried out, grinding and sieving of quartzite tailings samples Junco Seridó distinguished by golden hues and pink. The objective of the research was to determine which variety of quartzite residue shows better results when subjected to crushing tests and especially grinding. Thus, the results show that the crushing was satisfactory because it had on average approximately 34% of the material with particle size of 0.300 mm. Moreover, it was verified that the residue golden quartzite compared to pink, exhibited a greater reduction particle size after milling tests.

KEYWORDS: waste, quartzite, ceramic industry.

1. INTRODUÇÃO

O tratamento ou beneficiamento mineral é uma atividade importante na mineração, pois é nesta fase que será agregado valor às substâncias minerais extraídas na natureza. O processo de beneficiamento objetiva aproveitar e até mesmo reaproveitar materiais, antes considerados descartáveis, de modo a transformá-los em insumos e matéria-prima para indústria de produção de bens que atendem o mercado consumidor.

Atualmente existem vários estudos sobre o processamento de resíduos de quartzitos provenientes de serrarias do Seridó Paraibano que visam aplicação como material não plástico em formulações de argamassas ou até mesmo como substituinte de parte da sílica na fabricação desses materiais (Viera *et al.*, 2011; 2013). Além dessa aplicação, os resíduos de quartzito, após o devido processo de adequação, podem ser aplicados de diversas outras formas, tais como: areia para construção civil, indústria de vidrarias, fundição, etc.

Para adequação dos resíduos são necessárias etapas de fragmentação e classificação por granulometria. A britagem é uma etapa inicial de redução, sendo geralmente realizado com o britador de mandíbulas. A operação de moagem faz parte da adequação granulométrica dos quartzitos para sua aplicação na indústria cerâmica, sendo que a granulometria exigida é abaixo de 0,300 mm (Adolfato, 2002). O funcionamento dos moinhos é extremamente influenciado pela moabilidade dos diferentes tipos de materiais (Chagas, 2008). Além disso, o comportamento das partículas no processo de moagem está diretamente ligado à sua composição química e mineralógica. A obtenção da granulometria requerida para o produto e o consumo de energia na moagem dependem essencialmente da moabilidade dos materiais. Esta é definida por Chagas (2008) como sendo a razão entre a superfície gerada e a energia consumida para a obtenção da mesma, e é expressa pela unidade $(\text{cm}^2/\text{g}) / (\text{kWh}/\text{tonelada de minério})$. Além disso, a cominuição, mais precisamente a etapa de moagem, é o processo que mais consome energia na indústria mineral, e, portanto, a previsão do gasto energético nessa etapa pode resultar em melhorias no beneficiamento e uma economia significativa.

Nesse contexto, foi realizado um estudo sobre a moabilidade de dois diferentes tipos de resíduos de quartzitos, de uma cooperativa de garimpeiros, localizada no município do Junco do Seridó, estado da Paraíba, os quais foram diferenciados pelas cores dourada e rosa, com o objetivo de estimar um tempo ideal para moagem das partículas até atingir a granulometria exigida para sua aplicação na indústria cerâmica.

2. OBJETIVOS

Determinar qual variedade de resíduos de quartzito apresenta menor resistência às etapas de fragmentação (britagem e moagem, a fim adequar a granulometria para aplicação indústria cerâmica. Além disso, definir o tempo ideal para moagem dos resíduos visando o melhor aproveitamento nessa etapa, e evitar gastos energéticos desnecessários.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de resíduos de quartzito, diferenciados pelas colorações dourada e rosa, foram coletadas aleatoriamente em um garimpo localizado no município de Junco do Seridó, interior do Estado da Paraíba.

Os ensaios de britagem, moagem e peneiramento foram realizados no Laboratório de Cominuição Mineral do Instituto Federal da Paraíba, *campus* Campina Grande.

3.1 Materiais

Para aplicação dos ensaios de moabilidade foram empregados os seguintes equipamentos e materiais:

- Britador de mandíbulas Astecma (Figura 1a);
- Vibrador de peneiras e três peneiras (aberturas: 1140, 595 e 300 μ m);
- Moinho de bolas (Figura 1b);
- Cilindro do moinho constituído de porcelanato;
- Corpos moedores esféricos com diâmetros variados (Figura 1c);
- Balança semi analítica.



Figura 1- (a) Britador de mandíbulas da marca Astecma; (b) moinho de bolas; (c) corpos moedores com diferentes diâmetros (Acervo pessoal, 2015).

2.2 Metodologia

Primeiramente foram pesados cerca de 6 kg de cada tipo de resíduo de quartzito e estes foram submetidos aos ensaios de britagem. É importante mencionar que o “gape” do britador

utilizado foi de 10 cm, sendo que maior partícula que alimentou o equipamento (top size) era de aproximadamente 8 cm - para manter uma margem de segurança da ordem de 20%.

As rochas, depois de britadas, passaram por uma etapa de preparação de amostras secundárias. Para isso, foram homogeneizadas pelo método manual de pilhas cônicas (Figura 2), e quarteadas em frações de 1,5 Kg.



Figura 2 – Formação de pilhas cônicas para homogeneização e preparação de amostras representativas (Acervo pessoal, 2015).

As quatro amostras de 1,5 Kg, de cada coloração, foram pesadas, e encaminhadas para a etapa de classificação por granulometria. Os ensaios de peneiramento foram efetuados a seco, utilizando as peneiras de abertura de 1410, 595 e 300 μ m. O tempo de peneiramento foi fixado em 10 minutos e a frequência de vibração do equipamento em 5 *hertz* (Hz).

As massas retidas nas três peneiras foram colocadas em um recipiente e pesadas, enquanto que o passante da peneira de menor abertura foi separado por já estar abaixo de 0,300mm, valor que corresponde à exigência granulométrica de aplicação na indústria cerâmica. O procedimento foi repetido para todas as amostras estudadas.

Nos ensaios de moagem foram adicionadas ao jarro cilíndrico do moinho as bolas de diferentes diâmetros e o material retido nas peneiras, visando a redução das partículas à faixa granulométrica de interesse. A primeira amostra de resíduo de quartzito dourado foi submetida à moagem com tempo de 5 minutos, a segunda com 10 minutos, a terceira com 15 minutos e a última, 20 minutos. O método foi igualmente aplicado para os ensaios de moagem das amostras de coloração rosada.

A variação do tempo de moagem objetivou verificar a influência a sua influência no processo, a fim de, estimar qual seria o tempo ideal para adequar a granulometria do material para sua aplicação na indústria cerâmica evitando gastos energéticos desnecessários.

Logo após os ensaios de moagem, procedeu-se um novo peneiramento (com os mesmos parâmetros dos ensaios feitos antes da moagem). Com base nos dados de massa retida e passante antes e após a moagem, foi possível estabelecer uma comparação entre a redução granulométrica dos resíduos de quartzitos dourado e rosa. O Fluxograma (Figura 3) apresenta o procedimento geral utilizado.

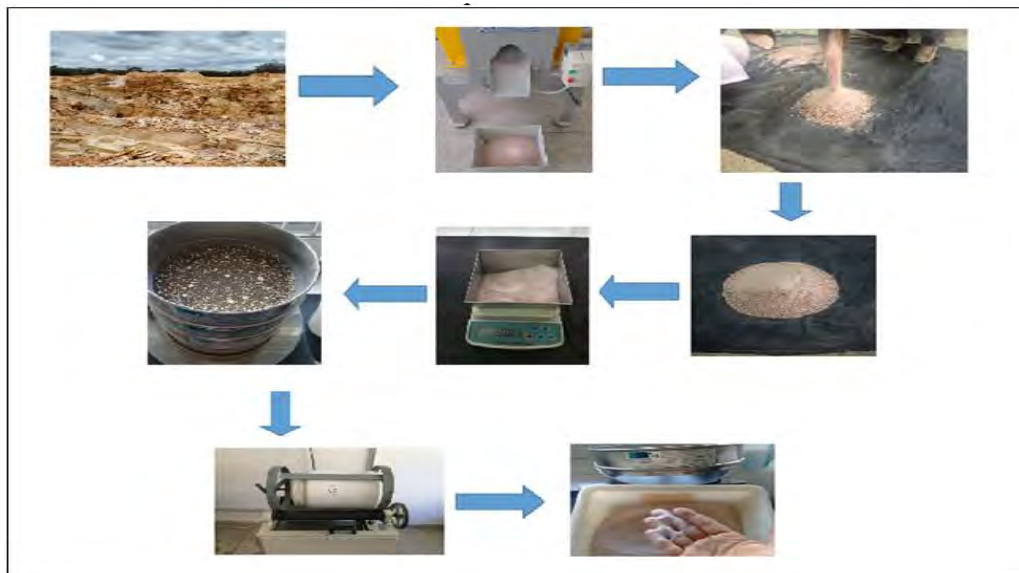


Figura 3- Fluxograma básico de fragmentação e adequação granulométrica dos resíduos de quartzitos (Acervo pessoal, 2015).

4. RESULTADOS E DISCURSÕES

4.1 Britagem

Após a britagem e o primeiro peneiramento das amostras de resíduos de quartzitos dourado, obteve-se os seguintes resultados (Tabela 1). Ao analisar os percentuais do material passante na peneira de 300 μ m (retido no cego), analisamos que os resultados da britagem foram satisfatórios, visto que em média 34% do material que alimentou o britador está na faixa de interesse para o presente trabalho.

Tabela 1. Distribuição granulométrica das amostras de quartzito dourado após a britagem.

Abertura (μ m)	Massa Retida (%) - Quartzito Dourado após britagem			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
1140	17,47	18,07	17,00	17,20
595	16,93	17,47	17,93	19,13
300	30,07	30,27	31,00	31,00
-300	35,93	34,00 510 g	33,93	32,60

Os resultados referentes à britagem e peneiramento para as amostras de resíduos de quartzito rosa estão representados na tabela abaixo (Tabela 2). Observa-se os percentuais do material que atingiu o tamanho de partícula de interesse foram, em média, 29%. Em comparação com resultados obtidos para o da coloração dourada, e o resíduo de quartzito rosa apresentou maior resistência à britagem.

Tabela 2. Distribuição granulométrica das amostras de quartzito rosa após a britagem.

Abertura (μm)	Massa Retida (%) - Quartzito Rosa após britagem			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
1140	20,87	20,67	22,67	30,27
595	17,67	17,47	18,13	14,67
300	30,73	31,60	30,07	30,07
-300	30,73	30,27	29,07	24,80

4.2 Ensaios de moagem

Na Figura 4 são apresentados os gráficos referentes às quatro amostras de resíduos de quartzito dourado com suas curvas de distribuição granulométrica, antes e após a moagem. Percebe-se que as quatro amostras apresentam basicamente a mesma distribuição granulométrica, visto que a variação percentual de material em cada peneira é pequena.

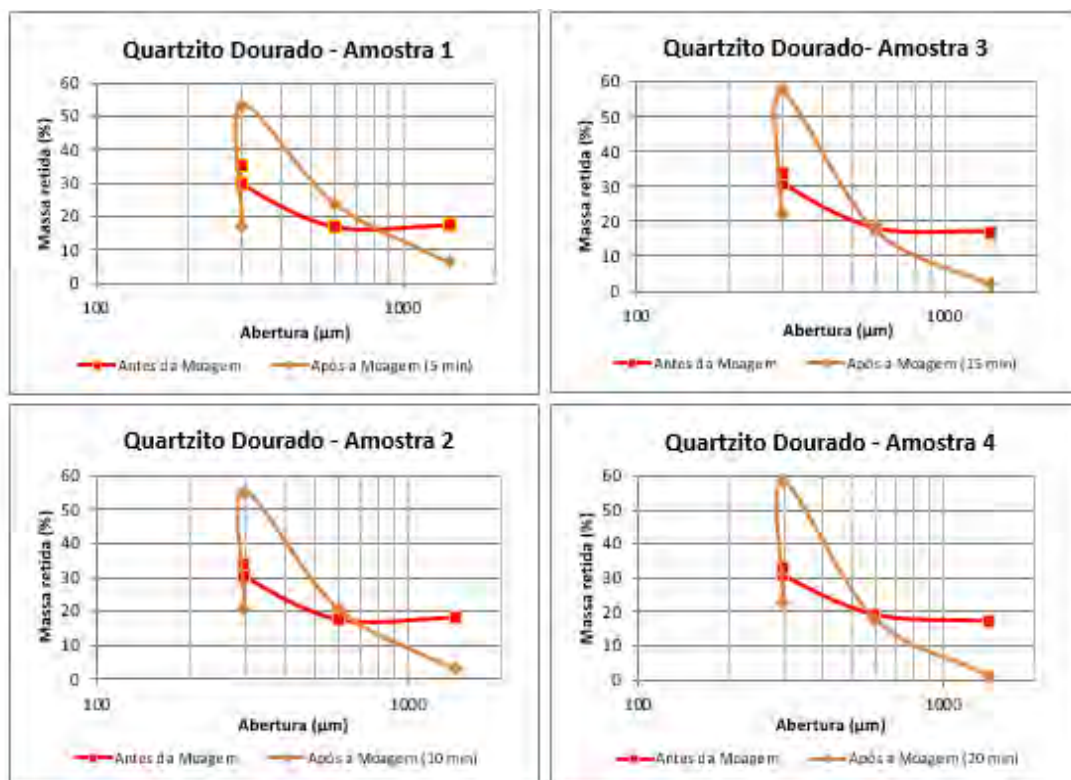


Figura 3- Gráficos expressando a distribuição granulométrica para as amostras da variação dourada (Elaboração dos autores).

Observa-se que no primeiro caso a moagem foi capaz gerar, aproximadamente, 16% de material abaixo de 0,300 mm (300 μ m). Com o maior tempo de moagem (20 minutos), cerca de 22% do material atingiu a granulometria exigida, sendo este valor o maior entre as amostras estudadas. No entanto, os resultados obtidos com os tempos de 10 e 15 (21 e 22%, respectivamente) foram bem próximos aos com o maior tempo. Assim, mesmo com a variação do tempo, a moagem reduziu percentuais próximos da massa total à -0,300mm, em todas as amostras. Além disso, percebe-se que em todas as amostras, cerca de 58% do material está retido na peneira de 300 μ m, o que representa que a moagem pode ser otimizada visando melhores resultados.

Na Figura 4 são apresentados os gráficos referentes às quatro amostras de resíduo de quartzito rosa com suas distribuições granulométricas, antes e após os ensaios de moagem.

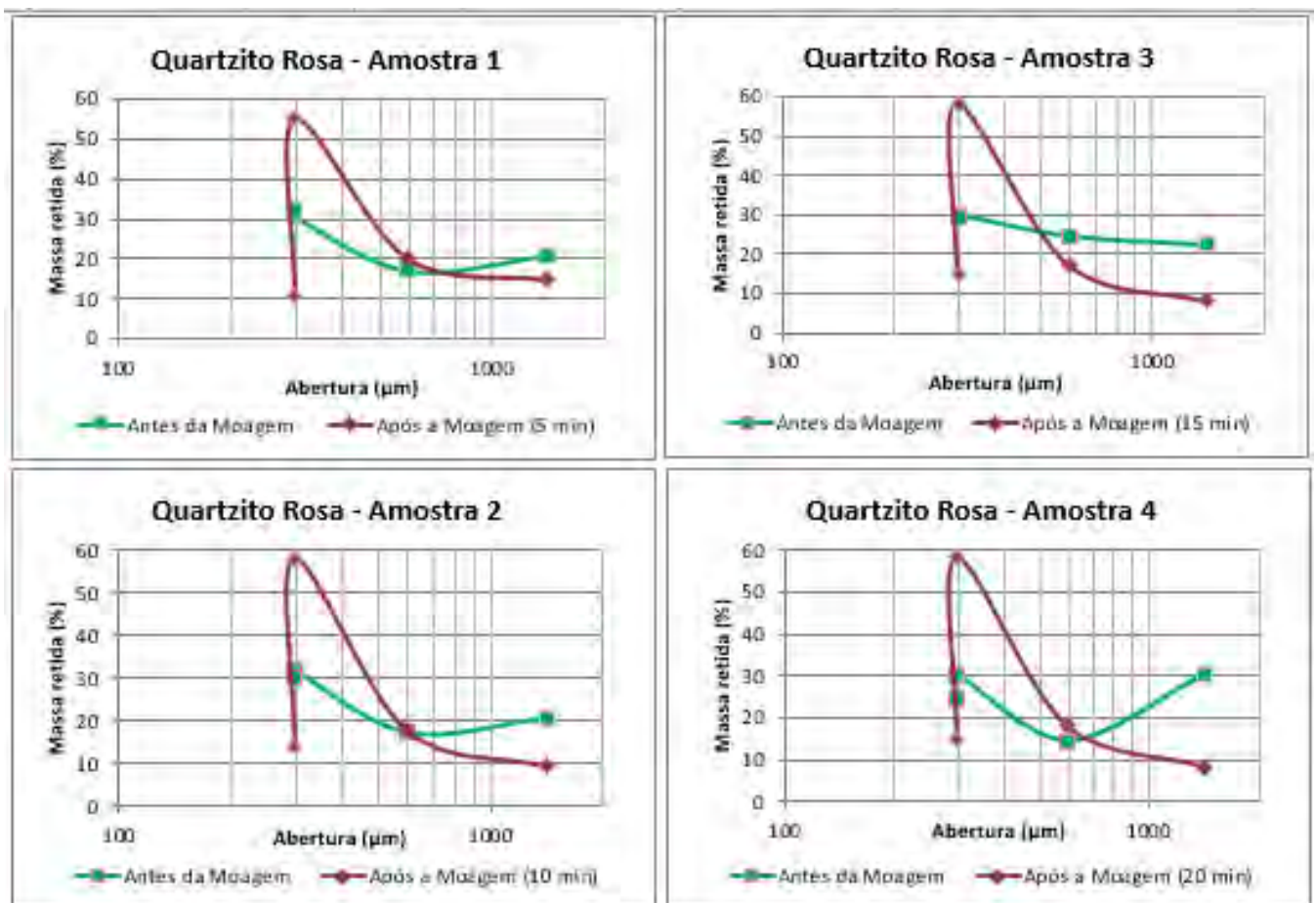


Figura 4- Gráficos representando o comportamento granulométrico das amostras da coloração rosa (Elaboração dos autores).

Percebe-se que a moagem para a amostra 1 gerou cerca de 10% do material retido no fundo cego (passante em 300 μ m), sendo a menor percentagem entre as amostras analisadas. Entretanto, as demais amostras (2,3 e 4) apresentaram uma maior redução à -0,300mm. Com os tempos de 10, 15 e 20 minutos, a redução das partículas à faixa de interesse foi cerca de 15%, assim, mesmo aumentando o tempo do ensaio, não houve variação percentual significativa. Logo, podemos definir que com o tempo de moagem a partir de 10 minutos, os resultados são mais satisfatórios para os quartzitos de cor rosa.

Estudos de Vieira *et al.* (2013) mostram que o alto teor de sílica e os baixos teores de alumina e ferro caracterizam uma maior resistência à moagem. A presença de 91,35% de SiO₂, 4,32% de Al₂O₃ e 0,99% de Fe₂O₃ conferem ao resíduo de quartzito rosa uma maior resistência à moagem, ou seja, esse tipo apresentou a moabilidade mais baixa entre ambos materiais analisados. No estudo realizado, percebe-se que a composição química e as características dos minerais constituintes dos resíduos de quartzitos dourado e rosa influenciam diretamente na sua moabilidade.

Sugere-se para os próximos trabalhos, analisar a influência de outros parâmetros da etapa de moagem, tais como- velocidade operacional, composição dos corpos moedores utilizados, fator de enchimento- visando obter melhores resultados para a redução das partículas.

5. CONCLUSÕES

A implantação de medidas e procedimentos que conduzam ao reaproveitamento dos resíduos de quartzito é imprescindível para o desenvolvimento racional e sustentável da atividade de extração desses materiais. Nesse contexto, a redução dos volumes de resíduos contribui significativamente para a preservação ambiental. Além disso, é possível obter lucros sobre o material que, até o momento, é considerado inútil para as empresas. Para isso, é necessário um estudo quantitativo do volume de resíduos que será retirado das pilhas, e da arrecadação financeira proveniente da venda dos produtos para a indústria cerâmica.

O emprego do britador de mandíbulas é eficaz para redução das lascas de rochas deixadas nas pedreiras, visto que, o equipamento foi capaz de cominuir cerca de 34% do material dourado e 29% do rosado, assim, uma quantidade considerável de resíduo seria retirado da natureza apenas com a etapa inicial.

Percebeu-se que a moabilidade dos materiais é uma medida inversamente proporcional à resistência à moagem dos materiais, ou seja, quando um material apresenta baixa moabilidade esse mesmo material caracteriza alta resistência à moagem. O quartzito dourado apresentou

menor resistência ao processo de fragmentação, tanto na britagem como na moagem. Pretende-se analisar a influência da composição química e mineralógica dos dois tipos de resíduos na resistência dos mesmos.

Além disso, definiu-se 10 minutos como tempo ideal para a moagem dos materiais, visto que, com o tempo de 5 minutos a redução à faixa de 0,300mm foi inferior aos demais tempos, e os tempos de 15 e 20 proporcionaram resultados similares ao ensaio com 10 minutos. Assim, a moagem com tempos superiores a 10 minutos acarretaria gastos energéticos desnecessários.

6. AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, *campus* Campina Grande, e à Cooperativa de mineradores do município de Junco do Seridó, Paraíba.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adolfato, R. P. Controle tecnológico básico do concreto. Núcleo de pesquisa em alvenaria estrutural. UNESP [Internet] 2002. Disponível em: <http://www.nepae.feis.unesp.br/Apostilas/Controle%20tecnologico%20basico%20do%20concreto.pdf>. Acesso em: 20 de janeiro de 2016.

Chagas, T. T. R. A moabilidade na moagem secundária de pellet-feeds de minérios de ferro em função da mineralogia, química, e microestrutura. [Dissertação de Mestrado]. Universidade Estadual de Minas Gerais, Ouro Preto; 2008.

Viera, E. V.; Souza, M. M.; Gonzaga, L. M. Caracterização química e mineralógica de resíduos de quartzitos para uso em cerâmica de revestimento. *Ambiente Mineral – Revista Brasileira de Mineração e Meio Ambiente* 2011; 2(2); 23-34.

Viera, E. V.; Souza, M. M.; Gonzaga, L. M. Caracterização dos resíduos da lavra de quartzitos da região do seridó visando à produção de cerâmica para porcelanato. *Ambiente Mineral – Revista Brasileira de Mineração e Meio Ambiente* 2013; 3(1),17-24.

TRATAMENTO TÉRMICO EM FLUORAPATITAS GEMOLÓGICAS DA REGIÃO DE SUMÉ-PB, BRASIL

Fabício Fernandes Vieira¹, Luisa Diniz Vilela de Carvalho², Elissandra N. Moura^{1,3}, Lauro César Montefalco de Lira Santos³,

¹ Programa de Pós-Graduação em Exploração Petrolífera e Mineral – UFCG – Av. Aprígio Veloso 882, Bloco BY, Cidade Universitária, 58109-970. Campina Grande - PB (Brasil);

² Programa de Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, IGEO/CCMN-UFRJ, Ilha do Fundão, 21949-900. Rio de Janeiro – RJ (Brasil);

³ Universidade Federal de Campina Grande – UFCG - Av. Aprígio Veloso 882, Bloco BY, Cidade Universitária, 58109-970. Campina Grande - PB (Brasil);

fabriciofv@terra.com.br

RESUMO

As fluorapatitas da região de Sumé, na Paraíba, foram historicamente lavradas como minério de fósforo. De coloração caracteristicamente verde, essas apatitas assumem uma coloração azul neon, muito apreciada pelo mercado gemológico, quando tratadas termicamente. O presente trabalho teve por objetivo caracterizar mineralógica e gemologicamente apatitas coletadas na localidade de Lagoa dos Piões, buscando-se um entendimento na mudança da cor observada após o tratamento térmico. As amostras foram analisadas segundo suas propriedades gemológicas básicas e por espectroscopia óptica e fluorescência de raios x. A mudança de cor observada após o tratamento térmico se dá devido a uma redução na absorção da luz na faixa do ultravioleta, com reflexos nas faixas do azul ao violeta. Os demais centros de cor observados no espectro visível se mantiveram estáveis após o tratamento térmico, sendo que alguns deles estão associados a transições eletrônicas dos íons Nd^{3+} e Pr^{3+} . Os elementos terras raras correspondem a menos de 1% da composição geral dessas apatitas. No mais, houve uma interessante mudança na manifestação das apatitas tratadas quando excitadas por luz ultravioleta de ondas curtas, acredita-se que esta característica seja potencialmente diagnóstica para detecção de tratamento térmico em apatitas azuis.

PALAVRAS-CHAVE: tratamento térmico, apatita, Paraíba.

ABSTRACT

The fluorapatite of Sumé region, in the state of Paraíba, were historically mined as phosphorus ore. With a characteristically green color, these apatites assume a neon blue color, much appreciated by the gemological market, when heat treated. This study aimed to characterize mineralogical and gemologically apatites collected in the location of Lagoa dos Piões, seeking an understanding of the color change observed after heat treatment. The samples were analyzed according to their basic gemological properties, optical spectroscopy and x-ray fluorescence. The color change observed after the heat treatment is due to a reduction in the absorption of light in the ultraviolet range, with reflection in the range of blue to violet in the visible spectrum. The other color centers observed in the visible spectrum were stable after heat treatment. Some of which are associated with electronic transitions of Nd^{3+} and Pr^{3+} ions. The rare earth elements are less than 1% of the composition of these apatites. Nevertheless, there was an interesting change in the manifestation of the treated apatite when excited by shortwave ultraviolet light. It is believed that this feature is potentially diagnostic for detection of heat treatment in blue apatites.

KEYWORDS: heat treatment, apatite, Paraíba.

1. INTRODUÇÃO

Apatita, no sentido estrito da palavra, não se refere a um mineral único. As apatitas formam uma importante série mineral, cuja estrutura básica é hexagonal, grupo espacial $P6_3/m$, e fórmula química simplificada $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{X}$, onde X pode ser, por exemplo, o íon F^- (fluorapatita), OH^- (hidroxiapatita), ou Cl^- (cloroapatita) (Elliott, 2013). Comumente, essas três espécies, e soluções sólidas entre elas, são generalizadamente referidas como apatitas (Hughes e Rakovan, 2015).

As apatitas ocorrem como constituintes menores de muitas rochas ígneas e estão presentes na maioria das rochas metamórficas, especialmente nos calcários (Elliott, 2013). É o mineral de fosfato mais abundante da terra e também o mais abundante minério de fósforo (Filippelli, 2008), estando os maiores depósitos associados a complexos alcalinos carbonatíticos e acumulações orgânicas (Toledo e Pereira, 2001).

A estrutura e composição da apatita permitem que muitas substituições composicionais ocorram. Assim, a apatita pode incorporar mais da metade dos elementos da tabela periódica ao seu arranjo atômico. Dentre os elementos que podem entrar na estrutura da apatita como impurezas, destacam-se os diversos cromóforos, como os metais de transição e elementos terras raras da série dos lantanídeos (Hughes e Rakovan, 2015).

Assim sendo, diferentes elementos podem ser responsáveis pela grande variedade de cores observadas nas apatitas naturais, propriedade que, apesar do relevante uso da apatita na indústria (destaca-se o uso em fertilizantes para a agricultura), confere ao mineral grande atratividade como gema.

Atualmente, fazendo jus à origem do seu nome, que deriva do grego *apate*, que significa *enganar*, visto que a apatita era frequentemente confundida com outros minerais (Elliott, 2013), é comum o uso da técnica de tratamento térmico em apatitas verdes para conferir à pedra uma coloração “azul Paraíba”. Dessa maneira, a apatita tratada termicamente é muitas vezes comercializada em lotes de pedras brutas ou lapidadas fazendo-se passar pela valiosa turmalina Paraíba (Choudhary e Golecha, 2003).

A fluorapatita tem ponto de fusão de 1644 °C, sendo bastante estável termicamente. O tratamento térmico é uma técnica amplamente conhecida e aplicada no mercado de gemas, resultando em melhorias e mudanças na cor. A origem da técnica data de milhares de anos, sendo que significativos avanços ocorreram a partir da década de 1960, permitindo que os resultados sejam permanentes e satisfatórios na grande maioria dos casos (Dominy, 2014).

De fato, a apatita gemológica possui índice de refração e densidade relativamente próximos aos da turmalina Paraíba ($n_{\text{apatita}} 1,628 - 1,649$, $n_{\text{turmalina}} 1,614 - 1,666$; $d_{\text{apatita}} 3,16 - 3,23$, $d_{\text{turmalina}} 2,82 - 3,32$) (Dominy, 2014), o que a simples vista, pode não permitir que os olhos mais treinados consigam diferenciá-las. Porém, propriedades como a significativa diferença entre a dureza dos dois minerais (5, apatita e 7 – 7,5, turmalina), além de outras propriedades ópticas, fazem com que a distinção entre as gemas seja tarefa fácil para laboratórios gemológicos.

As apatitas da região de Sumé são conhecidas desde a década de 1940, quando a atividade garimpeira se iniciou na área. Na década seguinte, os primeiros trabalhos de avaliação destes depósitos, sob a responsabilidade do DNPM/DFPM, foram conduzidos por Melo Jr. (1952), que efetuou sondagens, poços, trincheiras e galerias, determinando uma reserva inferida de 162.800t de minério, com teor de 38% de P_2O_5 (Medeiros e Torres, 2000).

Os importantes depósitos de apatita do município de Sumé – PB ocorrem sob a forma de lentes e bolsões mineralizados em *skarns*, sendo o mineral de minério a fluorapatita (Beurlen, 1965). As apatitas desta região, de coloração verde, tradicionalmente exploradas para uso como minério, quando tratadas termicamente assumem coloração azul ‘neon’, tornando-se mais aceitas no mercado gemológico.

2. Contexto Geológico

As ocorrências de apatita próximas ao município de Sumé, localizado na região centro-sul do estado da Paraíba, se inserem no contexto geotectônico do Terreno Alto Moxotó, Domínio da Zona Transversal da Província Borborema. O Terreno Alto Moxotó se destaca dos demais devido à presença de rochas arqueanas e paleoproterózoicas, não sendo comuns as rochas neoproterozóicas dominantes em toda a Província (Santos *et al*, 2002).

Na área de estudos afloram gnaisses claros com frequentes intercalações de anfibólios (**Figura 1**). Estes podem ser correlacionados aos ortognaisses de composição tonalítica-granodiorítica de idade paleoproterozoica do Complexo Sumé (Medeiros e Torres, 2000). Encaixadas concordantemente nesses ortognaisses, a apatita ocorre disseminada em rochas de composição quartzo-feldspática, que formam lentes ou bolsões de espessuras variadas (Santos *et al*, 2002). Medeiros e Torres (2000) ressaltam que as ocorrências de apatitas na região estão restritas ao Complexo Sumé.

As apatitas estudadas ocorrem em lentes centimétricas a métricas de *skarns* (**Figura 2**), que ocorrem concordantemente com o bandamento na direção da foliação principal entre 160° e 180° e com mergulhos de médio a alto ângulo variando entre 60° e 70° para nordeste (Nascimento, 2013).



Figura 1 – Ortognaisses com lentes de *skarns* mineralizados em apatita.



Figura 2 – Ocorrência de apatita em lentes de *skarns* associados a ortognaisses.

3. OBJETIVOS

Esse trabalho tem por objetivo caracterizar mineralógica e gemologicamente apatitas da região de Sumé – PB, após realização de tratamento térmico para melhoria de cor. Por causa da vasta gama de impurezas que podem atuar como cromóforos, há muitas dúvidas sobre a origem de cor no mineral, portanto, buscaremos também um melhor entendimento das causas de cor das apatitas de Sumé – PB.

4. METODOLOGIA

As fluorapatitas investigadas neste trabalho foram coletadas diretamente em cava aberta para pesquisa na localidade Lagoa dos Piões. Para o tratamento térmico, foram selecionadas as amostras com menor quantidade de inclusões, dada a maior aceitação como mineral gema.

O tratamento térmico foi feito em forno mufla a 700 °C. Uma vez alcançada a temperatura de 700 °C, ela foi mantida constante por 15 minutos. Após o desligamento do forno, para evitar choque térmico, as amostras foram retiradas quando este alcançou temperaturas abaixo de 100°C.

Para a caracterização mineralógica e gemológica foram selecionadas 36 amostras, sendo 18 de cor verde e 18 de cor azul, polindo-se uma face plana em cada uma delas para auxiliar nas análises.

Os ensaios gemológicos de índice de refração e densidade foram realizados no Laboratório de Pesquisas Gemológicas do CETEM, onde, também, espectros de absorção a temperatura ambiente, na faixa de 400 a 850 nm, foram obtidos por espectroscopia óptica no equipamento UV/Vis/NIR (Ultraviolet-visible- near infrared) Lambda 750S, equipado com esfera de integração; e foi observada a manifestação das apatitas sob excitação pelos comprimentos de onda de 254 nm e 365 nm da lâmpada de luz ultravioleta compacta UVP modelo UVGL-25.

Para a determinação da composição química, foram prensadas pastilhas com 5 gramas de cada amostra e realizadas análises semiquantitativas no equipamento de fluorescência de raios-x (WDS-2), modelo AXIOS (Panalytical), da Coordenação de Análises Químicas do CETEM.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As apatitas coletadas em campo na região de Sumé possuem, caracteristicamente, coloração verde (**Figura 3**), assumindo uma coloração azul neon após tratadas termicamente a 700 °C (**Figura 4**). Quando excitadas pelos comprimentos de onda longo e curto da luz ultravioleta, as apatitas verdes manifestam-se muito fracamente em um tom marrom avermelhado escuro, sendo notável a mudança de comportamento após o tratamento térmico, quando as apatitas, então azuis, assumem uma coloração violácea quando excitadas pelo comprimento de onda curto da luz ultravioleta (SWUV - 254 nm) (**Figura 5**).

A densidade dessas apatitas é em média 3,20 g/cm³, e o índice de refração varia de 1,632 a 1,638. Não havendo, como esperado, mudanças nestas características após o tratamento térmico.



Figura 3 - Amostras selecionadas para tratamento térmico.



Figura 4 - Fluorapatita após tratamento térmico a 700 °C.



Figura 5 - Fluorescência violácea de apatitas após tratamento térmico (SWUV).

Quanto à espectroscopia óptica, as amostras verdes e azuis apresentaram bandas de absorção características de elementos terras raras (**Figura 6**). As bandas em aproximadamente 740 e 800 nm foram claramente identificadas como relacionadas a transições eletrônicas do íon Nd³⁺, que também pode estar associado aos demais picos mais bem definidos observados no espectro (Cantelar *et al*, 2001). Esses picos geralmente aparecem como *doublets* devido à quase sobreposição das bandas de seu acompanhante inevitável, de composição química quase idêntica, Pr³⁺ (Pearson, 2003), cujas transições eletrônicas podem também estar relacionadas às assimetrias observadas entre 400 e 500 nm (Rossman, 2014).

A larga banda de absorção observada na região de aproximadamente 550 a 700 nm, absorvendo todo o laranja e amarelo, e boa parte do vermelho, com grande influência na cor no do mineral, é muitas vezes relacionada, para a causa da cor verde, a um centro buraco SiO_3^- em um complexo com íons terras raras trivalentes, envolvendo compensador de carga, cujo modelo é representado por $\text{SiO}_3^-(\text{Ce}^{3+} + \text{K})$ (Gilinskaya e Mashkovtsev, 1995). Ribeiro *et al* (2005) associam essa mesma banda a um centro de cor relacionado ao íon Mn^{5+} para apatitas azuis.

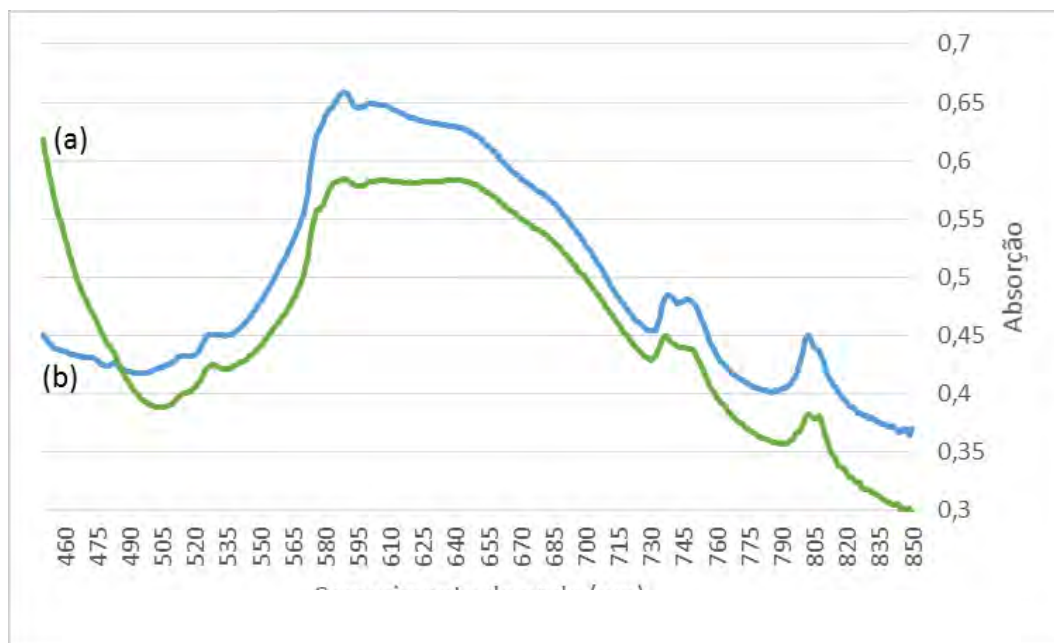


Figura 6 – Espectro de absorção óptica das amostras (a) verde natural e (b) azul tratada termicamente.

A presença de neodímio e praseodímio nas apatitas de Sumé foi confirmada pelas análises químicas por fluorescência de raios-x (**Tabela 1**). O somatório dos elementos terras raras nas amostras correspondem a menos de 1% da composição total dessas apatitas.

Conforme retratado na literatura, foi detectada a presença flúor, confirmando que as apatitas de Sumé são fluorapatitas, embora um pequeno conteúdo de cloro também tenha sido detectado.

Tabela 1 – Resultados obtidos por meio de análises químicas das apatitas da região de Sumé - PB. Os teores são expressos em porcentagem.

Identificação do Cliente	Controle Interno	SiO_2	P_2O_5	SO_2	CaO	CeO_2	Nd_2O_3	ThO_2	F	Cl	CuD	Pr_2O_3	Sm_2O_3
AZUL	FRX-1882	1,9	37,3	1,5	56,1	0,18	0,15	0,38	1,8	0,41	0,003	0,059	0,017
VERDE	FRX-1881	1,8	37,1	1,5	56,4	0,20	0,17	0,41	1,9	0,22	ND	0,026	ND

6. CONCLUSÕES

A cor adquirida pelas fluorapatitas de Sumé após tratamento térmico é estável e muito apreciada pelo mercado, o que potencialmente poderia viabilizar a exploração do mineral na região para fins gemológicos.

A principal causa para a mudança da cor verde para azul está relacionada à redução da absorção da luz na faixa do ultravioleta, com reflexos nas faixas do azul ao violeta. O entendimento dessa mudança requer estudos mais aprofundados das possíveis transições eletrônicas e defeitos ópticos que podem ocorrer nesses comprimentos de ondas mais energéticos da região do visível.

As demais bandas observadas no espectro se mantêm quase inalteradas após o tratamento térmico; devido à ausência de manganês nessas amostras, parece ser mais plausível associar a principal banda ao centro de cor SiO_3^- , que se manteria estável com o aquecimento até 700 °C. As demais, e menos intensas, contribuições na cor são devidas aos elementos terras raras neodímio e praseodímio.

A coloração violácea observada nas apatitas tratadas, quando excitadas por luz ultravioleta de ondas curtas, pode ser uma característica diagnóstica de tratamento térmico para apatitas azuis. Cabe aqui um estudo comparativo para se observar as diferenças entre apatitas azuis naturais e tratadas quando excitadas por luz ultravioleta de ondas curtas.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio do Laboratório de Pesquisas Gemológicas do CETEM, ao minerador David Ventura e ao suporte dado por toda equipe do Programa de Pós-Graduação em Exploração Petrolífera e Mineral da Universidade Federal de Campina Grande – PPGPEM – UFCG.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEURLIN, H. (1965). Estudo Geológico numa área do Município de Sumé - Paraíba. Relatório de Graduação, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 66 p.

CANTELAR, E., LIFANTE, G., CALDERÓN, T., MELÉNDREZ, R., MILLÁN, A., ALVAREZ, M. A., & BARBOZA-FLORES, M. (2001). Optical characterisation of rare earths in natural fluorapatite. *Journal of alloys and compounds*, 323, 851-854.

- CHOUDHARY, G., & GOLECHA, C. (2003). "Paraíba" Tourmaline and similar looking materials. *Gems and Jewellery*, 17(1), pp 16-18.
- DOMINY, G. M. (2014). The Handbook of Gemmology. *Amazonas Gem Publication*. 2nd edition. 860 p.
- ELLIOTT, J. C. (2013). Structure and chemistry of the apatites and other calcium orthophosphates. *Elsevier*. 388 p.
- FILIPPELLI, G. M. (2008). The global phosphorus cycle: past, present, and future. *Elements*, 4(2), 89-95.
- GILINSKAYA, L. G., & MASHKOVTSSEV, R. I. (1995). Blue and green centers in natural apatites by ERS and optical spectroscopy data. *Journal of Structural Chemistry*, 36(1), 76-86.
- HUGHES, J. M., & RAKOVAN, J. F. (2015). Structurally robust, chemically diverse: apatite and apatite supergroup minerals. *Elements*, 11(3), 165-170.
- MEDEIROS, V. C. & TORRES, H.H.F. (2000). Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Sumé. Folha SB.24-Z-D-V. Estados da Paraíba e Pernambuco. Escala 1:100.000. Falcão Torres. – Brasília: CPRM.
- MELO JR., J. L. (1952) Apatita: Paraíba. In: BRASIL. DNPM/DFPM. Relatório da diretoria - 1950. Rio de Janeiro, 160p. (Boletim, 93). p.14- 31
- NASCIMENTO, G.H. (2013) - Estudo Geocronológico dos skarns mineralizados em apatita da Região de Sumé (PB). *Dissertação de mestrado*. UFPE. Recife. 71 p.
- PEARSON, G. (2003). Spectra of gem materials. *Australian Gemmologist*, 21(12), 478-85.
- RIBEIRO, H. B., GUEDES, K. J., PINHEIRO, M. V. B., GREULICH-WEBER, S., & KRAMBROCK, K. (2005). About the blue and green colours in natural fluorapatite. *physica status solidi (c)*, 2(1), 720-723.
- ROSSMAN, G. R. (2014). Optical spectroscopy. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 78(1), 371-398.
- SANTOS, E. J. D., FERREIRA, C. A., & SILVA Jr, J. M. (2002). Geologia e recursos minerais do estado da Paraíba. *Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Minas e Metalurgia. CPRM - Serviço Geológico do Brasil*.
- TOLEDO, M. C. M. D., & PEREIRA, V. P. (2001). A variabilidade de composição da apatita associada a carbonatitos. *Revista do Instituto Geológico*, 22(1-2), 27-64.

ANÁLISE AMBIENTAL PARA A OBTENÇÃO DE GRANITO PARA BRITA NO SÍTIO BARRA DO SABUGÍ, MUNICÍPIO DE SÃO FERNANDO / RN.

Geovane Nascimento da Silva¹, Victor Vinicius Pereira Andrade², Mauro Froes Meyer³

¹ Estudante, IFRN CNAT

² Estudante, IFRN CNAT

³ Professor, IFRN CNAT

mauro.meyer@ifrn.edu.br

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar através de estudos a viabilidade ambiental, da área especificada, São Fernando – RN, para obtenção de granito para construção civil. Os resultados fracionários expõem que a atividade possui grande viabilidade do ponto de vista ambiental, além de beneficiar a população gerando emprego e renda, assim como o abastecimento de insumos para construção civil. A exploração de alguma forma vem provocar mudanças no meio ambiente, no entanto, as medidas mitigadoras de controle ambiental buscarão conter os impactos que ocorrem neste tipo de atividade. Apresenta-se também, como desafio para o paradigma do desenvolvimento sustentável, entendido como um processo de alteração, onde o uso dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a ação institucional, devem aumentar o potencial de atender às necessidades ambientais e humanas tanto atualmente como para o futuro, garantindo assim, uma equivalência nas relações sociais e ambientais. A obtenção de granito é uma atividade comum, que possui efeito potencial de contaminação e sujeito, entre outros mecanismos adotados pela gestão ambiental pública, ao licenciamento ambiental e da Licença de Extração (DNPM). Toda operação de obtenção do granito, bem como a implantação do britador, desmonte e produção de brita, serão executadas pelo 1º Batalhão de Engenharia de Construção do Exército – Batalhão Seridó, localizado em Caicó/RN. Nessa perspectiva se fazem necessários estudos de viabilidade de ordem social e ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: granito, viabilidade, desenvolvimento.

ABSTRACT

This study aims to analyze through studies the environmental feasibility of the specified area, São Fernando – RN, to obtain granite for construction. Fractional results state that the activity has a high feasibility from an environmental point of view, in addition to benefiting the population generating jobs and income, as well as the supply of inputs for construction. Exploitation somehow has led to changes in the environment, however, mitigating environmental control measures seek to contain the impacts occurring in this type of activity. It comes also as a challenge to the paradigm of sustainable development, understood as a process of change, where the use of resources, the direction of investments, the orientation of technological development and institutional action, should increase the potential to meet the needs environmental and human both now and in the future, thus ensuring equivalence in social and environmental relations. Obtaining Granite is a common activity, which has potential for contamination effect and subject, among other mechanisms adopted by public environmental management, environmental licensing and Extraction License (DNPM). The whole operation of getting the granite, as well as the introduction of crusher, disassemble and production of crushed stone, will be performed by the 1st Battalion of the Army Construction Engineering - Seridó Battalion, located in Caicó / RN. In this perspective are necessary feasibility studies of social and environmental concerns.

KEYWORDS: granite, viability, development.

1. INTRODUÇÃO

O projeto a ser realizado trata da extração de granito para obtenção de brita. A área situa-se no Sítio Barra do Sabugí, Município de São Fernando / RN. A área a ser analisada para brita está introduzida num polígono de 10 hectares, abrangendo um corpo alongado com eixo principal no sentido NE-SW, com superfície exposta possuindo 70m x 200m x 10m de altura média, de um afloramento de rochas graníticas.



**Figura 1- Localização de São Fernando no Mapa de Mesorregiões do RN.
Fonte: IDEMA, 2000**

2. MATERIAL E MÉTODOS

Situação e localização em relação aos cursos d'água próximos.

A área do afloramento dista aproximadamente 3 Km do Rio Sabugí, integrante da sub-bacia do Rio Seridó. De acordo com os padrões de drenagem observados na área em torno do corpo granítico, observam-se riachos temporários sem incidências de vales formados por interflúvios de ondulações suaves da Depressão Sertaneja (Figura 2).



Figura 2- feição de relevo denominada depressão sertaneja.



Figura 3- Detalhe do afloramento de granito cinza para obtenção de brita.

Geologia

Na formação analisada são encontrados diversos minerais de alto valor econômico, tais como o ouro, cobre, mica, berilo, columbita, ferro, scheelita, enxofre, entre outros. A área a ser examinada como área de empréstimo é constituída especificamente de granito cinza (Figura 3), situada em uma região rica em biotita gnaisses, gnaisses com epídoto e listradas e hornblenda, sendo correspondente ao Complexo Seridó das rochas pré-cambrianas.

PLANO DE LAVRA- DADOS TÉCNICOS DA MINERAÇÃO

Área da Lavra

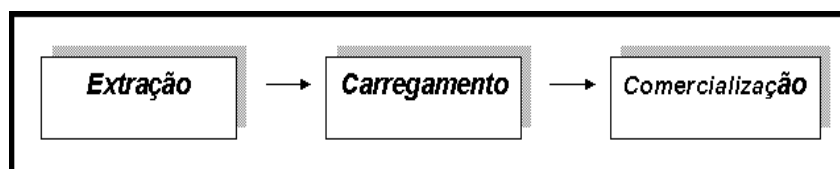
As operações de lavra consistem exclusivamente na exploração de brita em um terreno geologicamente descrito anteriormente. A região em análise possui uma área de 10 ha, onde a matéria prima, granito, é escoada através de caminhões para o depósito em Caicó - RN, onde toda a produção é vendida com destino a construção civil dos municípios próximos.

Desenvolvimento

A preparação da mina começará com os serviços de limpezas, aberturas de estradas e infraestruturas de apoio logístico. As particularidades topográficas entre o maciço a ser examinado e o plano levemente inclinado da área em volta do mesmo favorecem o desenvolvimento das atividades extrativas, nos deslocamentos e posicionamentos das pranchas para o processo de acabamento dos blocos, bem como, na remoção dos rejeitos para a área de bota-foras, projetadas sobre as rochas encaixantes.

Método de Lavra

O desenvolvimento da lavra será realizado de forma mecânica de acordo com o comportamento do minério "*in loco*" seguindo as tendências locais de comportamento de organização geométrica do depósito. A substância mineral, objeto da análise, é a brita para comercialização imediata na construção civil, na composição de aglomerados, classificada como média e grossa.



3. Resultados e discussão

A jornada de trabalho a ser estabelecida para os serviços a serem realizados na área referida, será de 12 meses/ano, 22 dias por mês e 8 horas por dia. Será estabelecida a seguinte meta de produção para o aproveitamento racional do jazimento.

A - Produção mensal prevista = 800 m³/mês

B - Jornada de trabalho anual = 12 meses/ano

C - Produção anual na extração = 9.600 m³

Produção

Conforme já foi mencionado no item escala de produção, estima-se uma produção mensal de 800 m³/mês, com jornada de trabalho 12 meses/ano, espera-se atingir uma produção anual na ordem de 9600 m³.

Estimativa de Custo

A) Equipamentos

SUB-TOTAL.....	R\$	42.500,00
----------------	-----	-----------

B) Quadro de pessoal

Salário mensal e encargos

SUB-TOTAL.....	R\$	3.900,00
----------------	-----	----------

Outros (combustível, manutenção, alimentação etc).....	R\$	3.000,00
--	-----	----------

Total.....	R\$	6.900,00
------------	-----	----------

C) Custo Total (A+B).....	R\$	49.400,00 reais/mês
---------------------------	-----	---------------------

4. Conclusões

Considerando que serão trabalhados 12 meses/ano e sendo a produção mensal prevista de 800 m³/mês temos: Produção no período = 800 m³. Como o minério será comercializado a 72 reais/m³ (*FOB – Free on Board*) – Minério Embarcado. Valor de venda no período = 800 m³ x 72,00 reais/m³ vendas/mês = 57.600,00 reais.

Lucro líquido/mês = R\$ 57.600,00 — R\$ 49.400,00 = R\$ 8.200,00.

Logo, a empresa obterá uma margem de lucro mensal de aproximadamente 14,24% sendo mantida a escala de produção estabelecida previamente e o preço unitário de venda da brita. Em face dos resultados obtidos com relação aos custos e ao preço de comercialização do minério, podemos concluir que o presente plano de lavra é economicamente e ambientalmente viável.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Campos, S. A. Contribuição ao estudo do Grupo Barreiras no Rio Grande do Norte. Natal: Arq. Inst. Antropologia de Natal/UFRN, 1969.

King, L. C. A geomorfologia do Brasil oriental. Revista Brasileira de Geografia. Rio de Janeiro, 18(2): p 147-265, 1956.

Mabesoone, J. M. & Castro, C. Desenvolvimento geomorfológico do Nordeste Brasileiro. Bol. Do Núcleo Nordeste da Soc. Brás. Geol., Recife, p 35-36, 1975.

TÉCNICAS. Associação Brasileira de Normas - ABNT (NBR 13029) - Coletânea de Normas de Mineração e Meio Ambiente, Companhia Vale do Rio Doce, Rio de Janeiro, 1993.

TÉCNICAS. Associação Brasileira de Normas - ABNT (NBR 13030) - Coletânea de Normas de Mineração e Meio Ambiente, Companhia Vale do Rio Doce, Rio de Janeiro, 1993.

AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE AMBIENTAL, TÉCNICA E ECONÔMICA DA ATIVIDADE DE CASCALHO NO MUNICÍPIO DE ARÊS – RN.

*Ilana Maria da Silva Santos*¹, *Vânia Maria de Melo Tavares*², *Mauro Froes Meyer*³

¹ Estudante do curso técnico de mineração, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN – RN)

² Estudante do curso técnico de mineração, IFRN (Campus Natal- Central)

³ Coordenador do curso técnico de Mineração, IFRN (Campus Natal – Central)

E-mail: ilanamariass@hotmail.com

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade ambiental, técnica e econômica de uma área localizada na Fazenda Limoal no município de Arês-RN para extração de cascalho apresentando aqui a descrição das atividades de lavra, os equipamentos que serão utilizados, como também, enfocar os procedimentos que serão adotados com a finalidade de garantir a segurança operacional dos serviços de exploração mineral e preservação ambiental, visando exclusivamente, fornecer material de aterro para o CONSÓRCIO CONSTAN/GALVÃO/CONSTRUCAP, que serão utilizados nos serviços de terraplenagem às obras de adequação da BR-101/RN. Os resultados parciais mostram que a atividade é altamente viável do ponto de vista ambiental, técnico e econômico e trará benefícios na geração de emprego e renda, assim como o fornecimento de insumos para o consorcio acima mencionado. A exploração de alguma forma vem provocar alterações no meio ambiente, entretanto, as medidas de controle ambientais buscarão mitigar os impactos decorrentes da atividade.

PALAVRAS-CHAVE: econômico, extração de cascalho, técnico e viabilidade ambiental.

ABSTRACT

This study aims to analyze the environmental feasibility, technical and economic an area located on the farm lemon groves in the Ares-RN county for gravel extraction presenting here the description of mining activities, the equipment to be used, but also focus the procedures to be adopted in order to ensure operational safety and environmental protection of mineral

exploration services, to exclusively provide fill material for CONSORTIUM CONSTAN / GALVÃO / Construcap, which will be used in earthmoving services to the adaptation works BR-101 / RN. Partial results show that the activity is highly feasible from an environmental point of view, technical and economical and will benefit in generating jobs and income, as well as providing inputs for the aforementioned consortium. The operation somehow comes because changes in the environment, however, the environmental control measures seek to mitigate the impacts of the activity.

KEYWORDS: Economic, gravel extraction, technical and environmental viability.

1. INTRODUÇÃO

A extração de minérios é, sem dúvidas, uma atividade indispensável à sobrevivência do homem moderno, dada a importância assumida pelos bens minerais em praticamente todas as atividades humanas. Nesse sentido fazem-se necessários estudos de viabilidade de ordem técnica, econômica e ambiental. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade ambiental, técnica econômica de uma área para extração de cascalho em Arês - RN, de forma que a atividade seja desenvolvida de forma sustentável. No contexto geral, foram abordados os principais aspectos relacionados às atividades, tais como: preparação, desenvolvimento, lavra, transporte e impactos ambientais propondo reabilitação da área minerada.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Enveredando sobre o entendimento de Viabilidade Ambiental, optamos por entender esse termo a partir da ótica de LEOPOLD, produtor da obra; "A procedure for Evaluating Environmental Impact" do ano de 1971, cuja proposição contempla a necessidade de haver necessariamente um equilíbrio entre a utilização dos recursos naturais e sua preservação, ou seja, procurando degradar de uma forma que reduza os impactos ao meio ambiente. Pois, a utilização dos recursos naturais faz parte da evolução e desenvolvimento dos seres vivos no planeta Terra, tal fato é explicado quando os autores relatam: "O homem não pode sobreviver neste planeta sem a utilização de seus recursos naturais prudentemente. Nessas circunstâncias um não pode esperar para restaurar todo o passado, nem preservar a todo apresentar para as gerações futuras. No entanto, todos

podem e devem esforçar-se para equilíbrio adequado entre o desenvolvimento de recursos e manutenção de agradáveis arredores”. Seguindo a guisa, observamos que para o desenvolvimento de um empreendimento mineral, se faz importante antes de realizar a exploração mineral, fazer um balanço dos dados existente sobre a área pleiteada, buscando avaliar uma série de elementos antes mesmo de se implementar um empreendimento produtivo, como: as relações econômicas, ambientais e políticas. Sobre esse tema é importante ressaltar que outros autores compartilham da mesma linha de pensamento, como o próprio Gabriel Ferreira o qual em seus estudos de “Exploração minerária e a recuperação de áreas degradadas”, busca contemplar a exploração otimizando ao máximo o setor da mineração.

3. METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão bibliográfica para ter um conhecimento sobre a retirada e utilização do cascalho e sua exploração na região de Arês- RN, seria viável tanto do ponto de vista econômico como ambiental, após comprovar a sua viabilidade foi feito um levantamento da legislação apropriada para o tipo do empreendimento, sendo esta de ordem federal, através do DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral) e o CPRM (Serviço Geológico do Brasil), órgão estadual como o IDEMA (Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente) e as entidades municipais. Em seguida, foi realizado o diagnóstico ambiental, o qual tem por finalidade um estudo dos agentes causadores de problemas na região para logo após, identificar e definir os impactos ambientais e planos de controle ambiental. Posteriormente, foi executado um estudo técnico e econômico da extração do minério e sucessivamente, a discussão dos dados coletados e realizados durante a operação de extração do cascalho no município de Arês – RN.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Definições das Áreas de Influência Direta e Indireta

A área pretendida situa-se, nas proximidades da cidade de Arês, mais precisamente na Fazenda Mata do Marfim. O acesso a área, tomando-se como ponto de partida a cidade de Natal- RN, através da BR 101, com direção a cidade de Arês e percorre-se cerca de 75 km.

O acesso à jazida EC-03 se dá pela via vicinal ligada com a RN 269. Neste caso, o Consórcio irá proceder às melhorias necessárias no sentido de ampliá-lo e instalar a sinalização devida, integrando aos demais procedimentos específicos no Plano de Controle Ambiental.

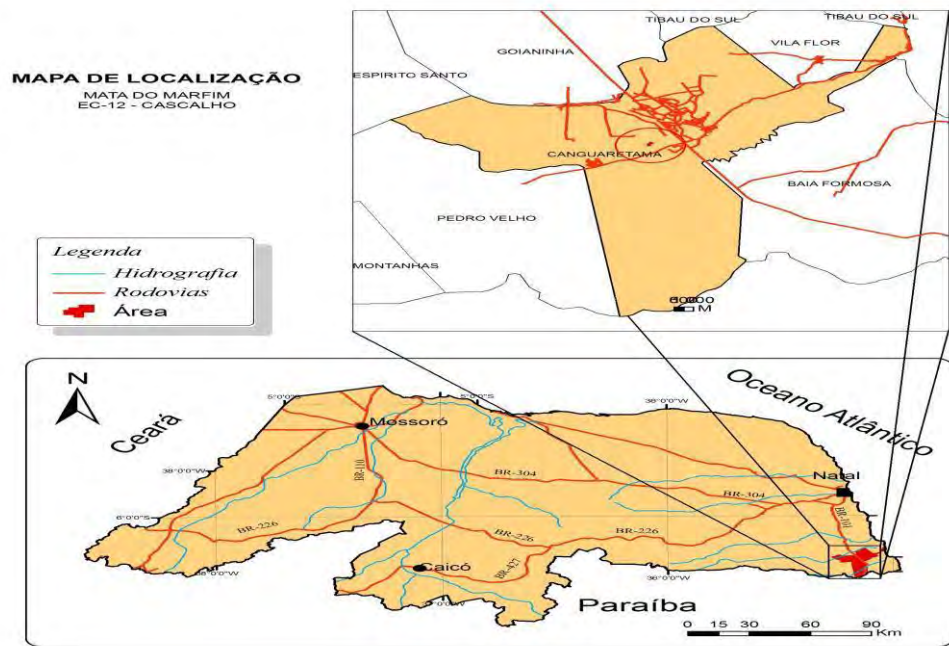


Figura 1- Mapa de localização.

4.2 Dados técnicos das atividades de extração de areia de aluvião - área de lavra, recurso e reserva mineral.

Em conformidade com as condições geológicas e topográficas do jazimento, o método de lavra adotado será a céu aberto, com bancada em flancos, de forma que a superfície resultante será aplainada, em terraços sequenciais através de desmonte mecânico. Nesta etapa serão levados em consideração os fatores físicos naturais, que favoreçam a implantação da estrutura para exploração da jazida, principalmente no que se refere à ausência de cobertura vegetal nativa.

Os aspectos morfológicos, estradas, setores isentos de vegetação nativa, além da avaliação do atual uso do solo já foram quantificados na etapa de planejamento, visando-se a economicidade da atividade aliado a amenização dos impactos ambientais adversos, oriundos da operacionalização desta atividade extrativa. A movimentação de material será seletiva, de forma que inicialmente remove-se toda cobertura considerada como material de expurgo (capeamento), representado por restolhos vegetais e pela camada húmica de solo arenoso cinzento.

Observando os parâmetros técnicos da jazida, verificada “in loco”, a relação de mineração é da ordem (zero), tendo em vista a pequena espessura do solo orgânico que cobre a jazida. Portanto, os serviços de desenvolvimento da jazida em epígrafe, se resumiram apenas na

instalação dos equipamentos de desmonte e apoio, objetivando exclusivamente a operação das atividades de lavra. Vale salientar que o solo orgânico que cobre a jazida, será removido, com o trator de esteira ou carregadeira de pneus, em uma fase anterior ao desmonte, e estocada para ser utilizada posteriormente na fase da Recuperação Ambiental.

Após o decapeamento, iniciará a atividade de lavra, utilizando equipamento de retro-escavação, carregando-se simultaneamente as caçambas, que transportam o material para trechos a serem utilizados ao longo da obra. Em cada fase da operação de lavra, serão executados os seguintes procedimentos específicos para minimizar os impactos ao meio ambiente.



Figura 3 – Configuração da jazida a ser lavrada.

5. CONCLUSÃO

O presente Plano de Lavra objetiva proporcionar as diretrizes gerais das atividades extrativas de cascalho, na jazida localizada na Fazenda Limoal, município de Arês -RN, que serão utilizados nas obras de adequação da BR-101/RN – Lote 2, do km 142,6 ao km 177,8.

O empreendimento se insere em momento oportuno, devido a atual execução das atividades de duplicação da rodovia BR-101/RN – Lote 2, tendo como único objetivo fornecer cascalho para os serviços de terraplenagem desta obra civil de significativo cunho social. Em relação às questões ambientais, as medidas de controle do meio ambiente foram tomadas enfocando o monitoramento das atividades extrativas do cascalho, além da obtenção da licença de operação junto ao Órgão Ambiental e IBAMA, estes conjuntos de medidas e ações irão manter o equilíbrio do meio ambiente local, bem como a otimização das condições de saúde e segurança no trabalho, que objetiva assegurar a viabilidade ao empreendimento. Como conclusão final, o

projeto apresenta viabilidade técnica e ambiental, levando em conta, principalmente, que estamos diante de uma pequena área a ser lavrada.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONAMA, Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 01, de 18 de junho de 1986, Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 1986.

DNPM. Norma Brasileira Para Classificação de Recursos e Reservas Minerais. Ministério de Minas e Energia. Departamento de Produção Mineral, 2002.

BANCO DO NORDESTE. (1999) – Manual de Impactos Ambientais. Banco do Nordeste. Fortaleza, 86p.

IDEMA/RN. (2000) - Informativo Municipal das Cidades do RN, 1 CD - ROM.

LEOPOLD, L.B.; CLARK, F.E.; HANSHAW, B.B. & BALSLEY, J.R. (1971) - A procedure for Evaluating Environmental Impact. U.S. Geological Survey Circular, n. 645. Washington D.C.: Dep. of Interior.

FERREIRA, G. L.B.; (2008) – Exploração minerária e a recuperação de áreas degradadas. Brasil. Disponível em: artigo online.

CARACTERIZAÇÃO DO ESTÉRIL DA LAVRA DE ROCHAS ONAMENTAIS PARA FABRICAÇÃO DE BRITA

Juliano Tessinari Zagôto¹, Rômulo Furtado Faria²

¹Professor EBTT, Ifes/Campus Nova Venécia

²Professor EBTT, Ifes/Campus Nova Venécia

tessinari@ifes.edu.br

RESUMO

As rochas ornamentais, essenciais componentes da parte sólida da crosta terrestre, compreendem vários tipos de rochas, como os granitos, ardósias, gnaisses e quartzitos. O Brasil, importante produtor de rochas ornamentais no cenário mundial, com aproximadamente 1.500 pedreiras em atividade, e que no ano de 2014 produziu 10,13 Mt de rochas ornamentais, pode ter gerado aproximadamente 30 Mt de resíduos. Esses estéreis são gerados na abertura da pedreira, e principalmente durante o desenvolvimento das bancadas, devido ao descarte de blocos considerados fora das especificações de mercado. O estéril gerado abrange ainda blocos com defeitos, tais como presença de fraturas e trincas, tanto as de origem tectônica, quanto as resultantes das fases críticas das operações de lavra, assim como no manejo de explosivos, tombamento de painéis, manuseio dos blocos e principalmente devido ao alívio das tensões internas das rochas. Esse fato resulta da falta de maiores investimentos em pesquisa geológica, onde o imediatismo leva a abertura das pedreiras de forma empírica, sem levar em conta o estudo e as direções do campo de tensões atuante sobre o maciço rochoso a ser explorado. O Estado do Espírito Santo (ES) tornou-se referência mundial em mármore e granito, além de destacar como líder absoluto na produção nacional de rochas, com mais de 90% dos investimentos do parque industrial brasileiro no setor de rochas ornamentais e apresentando um potencial geológico imensurável, amplamente desenvolvido por meio de pesquisas geológicas, tecnologias de extração e beneficiamento. Possui mais de 600 jazidas ativas de granito, com enorme diversificação chegando a mais de 500 tipos, constituindo-se o maior pólo de extração e beneficiamento de rochas ornamentais do país. Com a grande produção de estéril, e inicialmente poucos estudos para viabilizar o emprego deste resíduo, o trabalho tem como objetivo destinar o uso na

construção civil, reduzindo assim o impacto ambiental gerado pela disposição do estéril e gerando um novo produto.

PALAVRAS-CHAVE: Caracterização, uso do estéril, rocha ornamental.

ABSTRACT

Ornamental stones, essential components of the solid part of the Earth's crust, including several types of rocks, such as granite, slate, gness and quartzites. Brazil, the leading producer of ornamental stones on the world stage, with approximately 1,500 quarries in operation, and that in 2014 produced 10.13 million tons of ornamental stones, it may have generated approximately 30 Mt of waste. These wastes are generated in the opening of the quarry, and especially during the development of the benches, due to the discard of blocks considered out of market specifications. The waste generated also includes blocks with defects, such as the presence of fractures and cracks, both the tectonic origin ones and the ones as the result of the critical phases of mining operations ones, as well as in handling of explosives, tipping panels, handling blocks and mainly due to the relief of the internal stresses of the rocks. This fact is the result of the lack of major investment in geological research, where the immediacy leads to opening of quarries empirically, without taking into account the study and the directions of the active stress field of the rock mass to be exploited. The State of *Espírito Santo* (ES) has become a world reference in marble and granite, besides stand out as the absolute leader in the domestic production of rocks, with over 90% of the Brazilian industrial sector investments and presenting a geological potential immeasurable, widely developed through geological research, extraction and processing technologies. It has over 600 active mines of granite, with huge diversification to more than 500 types, being the largest center of mining and processing of ornamental stones of the country. High production of waste, and initially few studies to enable the use of this waste, this paper aims to allocate the use of it in civil construction, thereby reducing the environmental impact generated by the discard of waste and generating a new product.

KEYWORDS: Characterization, use of waste, ornamental stone.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com as especificações da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013), rochas ornamentais constituem material pétreo natural utilizado em revestimentos internos e externos, estruturas, elementos de composição arquitetônica, decoração, mobiliário e arte funerária.

A Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS), as rochas ornamentais e de revestimentos, conhecidas também como pedras naturais, rochas lapídeas, rochas dimensionais e materiais de cantaria, são os tipos litológicos que podem ser extraídos tanto em blocos quanto em chapas, cortados de formas variadas e depois beneficiadas por esquadreamento, polimento, lustro, entre outros. No ambiente das rochas ornamentais, blocos são pedaços da rocha extraída em uma forma planejada no formato de paralelepípedo retangular, de dimensões variadas e volume geralmente entre 5m^3 a 10m^3 .

Para Mendes et al (2002) em termos de classificação, as rochas ornamentais foram divididas em duas categorias comerciais, a classe dos granitos e dos mármore. A classe dos granitos, relaciona a família das rochas silicáticas, incluindo as ígneas ácidas, intermediárias e básicas, que podem ser de origem plutônica, sub-vulcânica a vulcânicas. Ainda sobre os granitos, possuem rochas metamórficas e sedimentares com diagênese alta, representada comercialmente por quartzitos, arenitos, conglomerados e rochas migmatíticas. A segunda classificação, é formada tanto de forma sedimentar quanto metamórfica.

Segundo Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais a produção total brasileira de rochas ornamentais e de revestimento supera 5,2 milhões de toneladas/ano, sendo 3 milhões de toneladas/ano de granitos, 1 milhão de tonelada/ano de mármore e o restante referente a produção de ardósias, quartzitos foliados e pedra Miracema, dentre outros. Os estados do Espírito Santo, Minas Gerais e Bahia respondem por 80% da produção nacional. O estado do Espírito Santo é o principal produtor, com 47% do total brasileiro. (ABIROCHAS, 2009).

Segundo o Anuário Mineral (2010), o Estado do Espírito Santo apresenta a maior reserva medida de Rochas Ornamentais (Granitos e Mármore) com 15,3Mt e a segunda maior reserva lavrável deste produto no Brasil com 2,2 Mt. Desta totalidade, a produção bruta destes materiais foi de 1,2Mt e a produção beneficiada de 1Mt. Em todas as suas etapas do processo (lavra, beneficiamento e acabamento), uma quantidade expressiva de resíduos sólidos,

com perdas de material que atingem a faixa de 65 a 75%, em média. Além de representarem perdas na produção, esta quantidade expressiva de resíduos vai afetar o meio ambiente e a produtividade.

O Brasil, importante produtor de rochas ornamentais no cenário mundial, com aproximadamente 1.500 pedreiras em atividade, e que no ano de 2014 produziu 10,13 Mt de rochas ornamentais, pode ter gerado aproximadamente 30 Mt de resíduos (ABIROCHAS,2014).

Muitas vezes, principalmente em se tratando de micro e pequenas empresas, grande parte desses resíduos são largados nas próprias pedreiras, causando um grande impacto ambiental visual e estético. No caso das rochas ornamentais, isto acontece, tanto nas grandes como nas pequenas empresas. Há casos em que os resíduos produzidos na fase do desmonte (lavra) são estocados de forma inadequada, criando riscos de acidentes e prejudicando, inclusive, a sequência dos trabalhos na própria frente de extração. A Figura 1 representa estes depósitos de resíduos das empresas estudadas.



Figura 1 – Depósitos dos estéreis das empresas

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo consistiu em uma pesquisa descritiva de caráter exploratório a ser enquadrada como um estudo de caso.

A área de estudo está compreendida na região noroeste do Estado do Espírito Santo (ES), especificamente nos municípios de Barra de São Francisco e Nova Venécia, distante cerca de 250 km de Vitória. Dentro área de estudo amostrou-se duas empresas do setor de rochas ornamentais.

Utilizaram-se como critérios de seleção das empresas, os seguintes fatores: Aceitar fornecer o resíduo para os estudos, produção anual e serem empresas que produzem materiais

(rochas) com características geológicas diferentes, para termos resultados comparativos. Por motivos éticos, os nomes das empresas não serão citados, identificados com E1 e E2, respectivamente.

Na Figura 2, mostramos um fluxograma simplificado das operações realizadas para a caracterização do resíduo gerado pelas empresas estudadas.



Figura 2 – Fluxograma representando a metodologia utilizada (Dos Autores).

A fração utilizada nestes ensaios são os resíduos grosseiros, provenientes da lavra de rochas ornamentais. Basicamente, as etapas se resumem em: amostragem manual, caracterização química e mineralógica, redução do tamanho da amostra (britagem), homogeneização e quarteamento da amostra, classificação por tamanho (peneiramento), observação e quantificação das diferentes frações (distribuição granulométrica) e ensaios tecnológicos de abrasão Los Angeles.

Da empresa E1, foram recolhidos inicialmente 426,48 kg de resíduo. Da empresa E2, foram recolhidos 301,17 kg de resíduo. Ambas as amostras passaram pelas mesmas operações.

O britador utilizado foi de mandíbulas, de escala laboratorial, com abertura de descarga de 19 mm, mostrado na Figura 3 a.

Após a britagem, esses resíduos foram homogeneizados e quarteados segundo a norma NBR NM 27:2001 – Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório, como demonstra a Figura 3 b.

Antes do ensaio de peneiramento, as amostras foram colocadas em estufa à 110° C durante 24 horas. Os ensaios de peneiramento foram realizados através de peneiras circulares, utilizando inicialmente peneirador vibratório, ilustrado na Figura 3 c. Depois, para cada amostra, foi realizado controle, conforme preconiza a norma NBR NM 242:2003 - Agregados - Determinação da composição granulométrica.

O ensaio de Abrasão Los Angeles seguiu a norma a ABNT NM 51:2001. As amostras foram lavadas para retirada do excesso de material fino e do material argiloso. Depois de lavado o resíduo foi levado à estufa, com temperatura média de 110° C por 24 horas, até que sua massa ficasse inalterada.

Após seco, o resíduo foi peneirado em duas faixas granulométricas, # 19 a 12,5 mm e # 12,5 a 9,5 mm, para cada resíduo, gerando assim 4 amostras, que segundo a norma ABNT NM 51:2001 é classificada como Graduação B, comercialmente conhecida como Brita 1.

Depois de separadas em faixas granulométricas foram realizados os ensaios com as amostras na Máquina de Abrasão LOS ANGELES da CONTENCO, ilustrado na Figura 3 d. Foram utilizadas 11 esferas, num total de 4773,30 g, de carga abrasiva.

Conforme preconiza a norma ABNT NM 51:2001, para cada amostra nas faixas granulométricas pesquisadas foram executadas 500 rotações do tambor a 32 rpm.

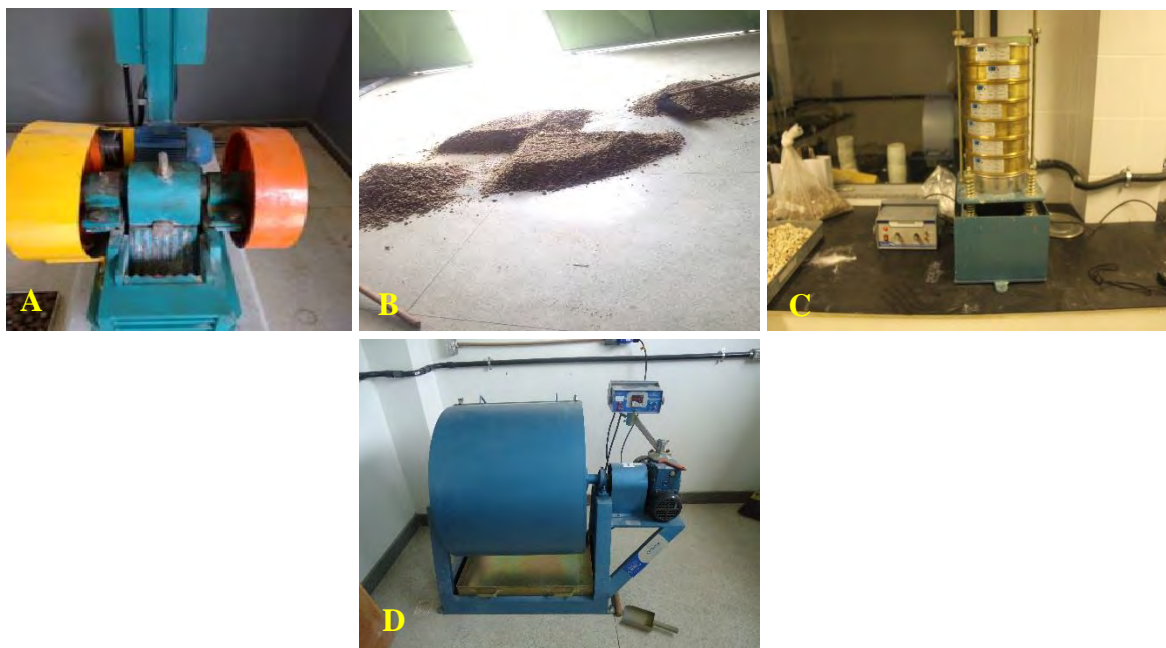


Figura 3 – Mosaico esquemático. (A) Britador utilizado (B) Pilha quarteada (C) Peneirador Vibratório (D) Máquina Los Angeles.

Após o ensaio na “máquina Loas Angeles”, as amostras foram retiradas e peneiradas na # 1,70 mm. O passante foi descartado e o retido foi lavado e deixado na estufa por 3 horas, em uma temperatura de 110º C, então, este material foi pesado e foi calculada a porcentagem da Abrasão “Los Angeles”.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Peneiramento

Os resultados obtidos no peneiramento da amostra do material da empresa E1, de acordo com a NBR NM 242:2003 - Agregados - Determinação da composição granulométrica, estão

descritos nas tabelas e gráficos a seguir. A massas iniciais das amostras 1 e 2 foram de 6.179,00 g e 6.128,00 g, respectivamente.

Tabela 1. Distribuição Granulométrica da Amostra 1 da Empresa E1

Abertura (mm)	Massa (g)	% Retida	% Retida Acumulada	% Passante
19,00	83,00	1,34	1,34	98,66
9,5	2363,70	38,32	39,66	60,34
4,75	1697,20	27,52	67,18	32,82
2,36	547,50	8,89	76,07	23,93
1,18	431,20	6,99	83,06	16,94
0,60	273,65	4,45	87,51	12,49
0,30	288,93	4,68	92,19	7,81
0,15	211,38	3,43	95,62	4,39
>0,15	271,08	4,39	100,00	0,00
TOTAL	6.167,67	100,00	-	-

Tabela 2. Distribuição Granulométrica da Amostra 2 da Empresa E1

Abertura (mm)	Massa (g)	% Retida	% Retida Acumulada	% Passante
19,00	98,10	1,60	1,60	98,40
9,5	2451,70	40,02	41,62	58,38
4,75	1868,60	30,50	72,12	27,88
2,36	560,40	9,15	81,97	18,73
1,18	387,97	6,33	87,60	12,40
0,60	214,71	3,50	91,10	8,90
0,30	206,79	3,37	94,47	5,53
0,15	143,41	2,34	96,81	5,53
>0,15	193,92	3,19	100,00	0,00
TOTAL	6.125,59	100,00	-	-

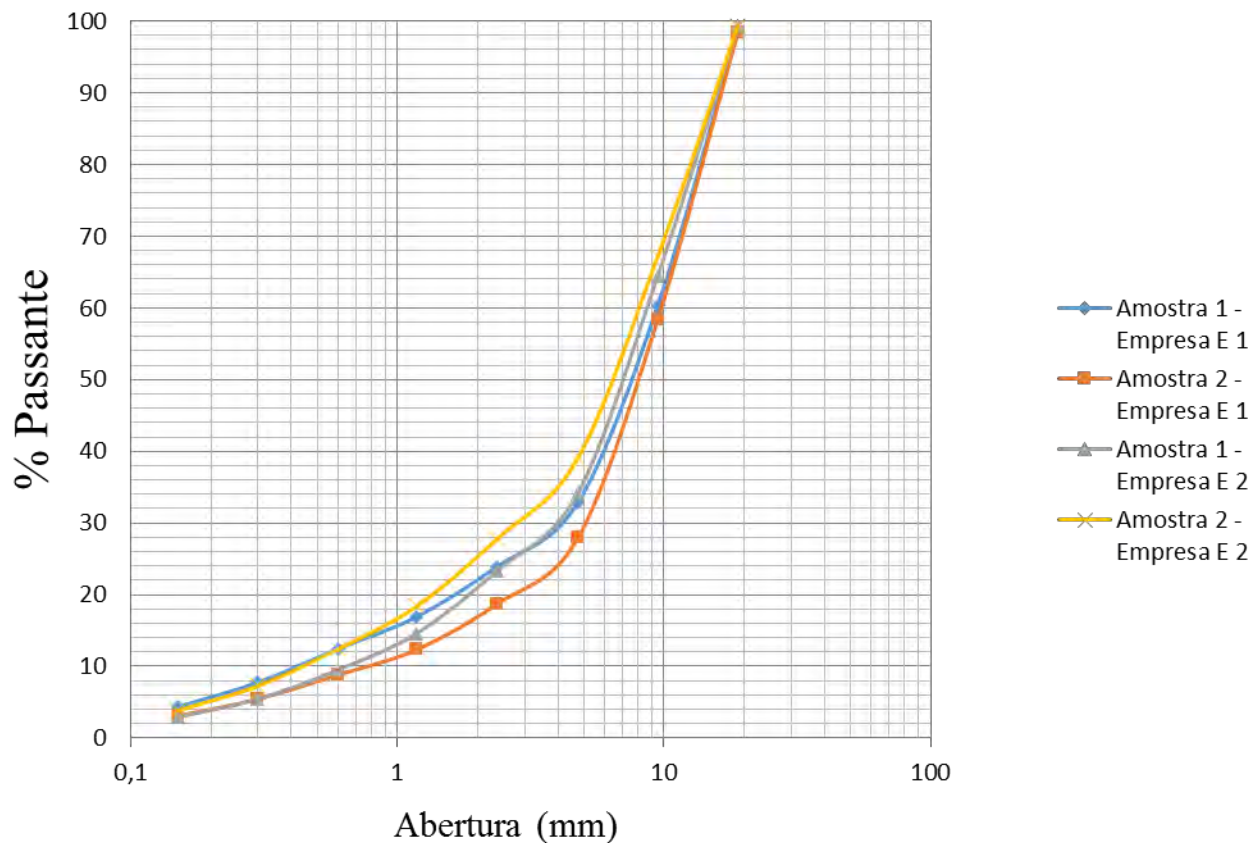
Para o resíduo da empresa E 2, a massa inicial da amostra 1 foi de 5.415,90 g e a massa inicial da amostra 2 da empresa E 2 foi de 5.282,10 g.

Tabela 3. Distribuição Granulométrica da Amostra 1 da Empresa E2

Abertura (mm)	Massa (g)	% Retida	% Retida Acumulada	% Passante
19,00	40,16	0,74	0,74	99,26
9,5	1887,40	34,85	35,59	64,41
4,75	1640,90	30,30	65,89	34,11
2,36	584,30	10,80	76,69	23,31
1,18	470,26	8,69	85,38	14,62
0,60	273,33	5,04	90,42	9,58
0,30	220,98	4,08	94,50	5,50
0,15	136,22	2,52	97,02	2,98
>0,15	161,46	2,98	100,00	0,00
TOTAL	5.415,01	100,00	-	-

Tabela 4. Distribuição Granulométrica da Amostra 2 da Empresa E2

Abertura (mm)	Massa (g)	% Retida	% Retida Acumulada	% Passante
19,00	34,70	0,65	0,65	99,35
9,5	1700,00	32,19	32,84	67,16
4,75	1486,40	28,15	60,99	39,01
2,36	592,30	11,22	72,22	27,79
1,18	495,32	9,38	81,59	18,41
0,60	312,93	5,93	87,52	12,48
0,30	271,73	5,14	92,66	7,34
0,15	182,70	3,46	96,12	3,88
>0,15	205,01	3,88	100,00	0,00
TOTAL	5.280,53	100,00	-	-

**Figura 4–** Gráfico da distribuição granulométrica das Tabelas 1 a 4.

3.2 Abrasão Los Angeles

Os resultados dos ensaios para calcular a perda por Abrasão Los Angeles dos resíduos estudados das Empresas E1 e E2 foram calculados através da seguinte fórmula, retirada da norma ABNT NM 51:2000:

$$P = (M - M_1 / M) \cdot 100 \quad (1)$$

onde:

P - Perda por Abrasão (%);

M - Massa do material seco (g)

M₁- Massa do material retido na peneira # 1,7 mm (g).

Os resultados estão discriminados nas tabelas abaixo.

Tabela 5. Perda por Abrasão Los Angeles das Empresas E1e E2.

Empresas	Faixa Granulométrica (mm)	Massa da Amostra "M" (g)	Massa Retida # 1,7 mm – M ₁ (g)	Perda por Abrasão "P" (%)
E1	19,00 – 12,50	2501,20	562,20	77,52
	12,50 – 9,50	2504,70	520,00	79,54
	19,00 – 9,50	5000,00	2014,20	57,77
E2	19,00 – 12,50	2504,50	742,20	70,37
	12,50 – 9,50	2500,40	678,80	72,86
	19,00 – 9,50	5000,00	2014,20	58,67

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nos ensaios de peneiramento foram satisfatórios, com 74,1 %, em média, de agregado graúdo proveniente do peneiramento dos resíduos da empresa E1 e 63,44 %, em média, de agregado graúdo proveniente do peneiramento dos resíduos da empresa E2. Porém os resultados do ensaio de perda por abrasão estão fora dos padrões preconizados pela norma ABNT NBR 7211:2009, que deve ser inferior a 50% em massa. Devem ser levados em consideração composição mineralógica, estrutura da rocha e a aplicação final do agregado. Há de se levar em consideração que este resultado pode não afetar negativamente sua aplicação na construção civil.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS, Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. **Situação mundial e posição brasileira no setor de rochas ornamentais em 2008**. Informe 18/2009. São Paulo, SP. 2009.

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 de fevereiro de 2016.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 7211 - Agregado para Concreto**. Rio de Janeiro, RJ, 2001. 5p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR NM 27 – Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório**. Rio de Janeiro 2001.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR NM 242 – Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro 2003. 6p.

DNPM, Departamento Nacional de Produção Mineral, **Anuário Mineral Brasileiro**. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br>. Acesso em 20 jun. de 2015.

MENDES, J. C., Jordt-Evangelista, H. Rochas ornamentais do estado de Minas Gerais, Brasil. **Anais do 10º Congresso Latino americano de Geologia**, Buenos Aires, 1998.

CARACTERIZAÇÕES MINERALÓGICA E TECNOLÓGICA DA PLYGORSKITA DA REGIÃO DE GUADALUPE-PI VISANDO SUA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DE FÁRMACOS

Luiz Carlos Bertolino¹, Rayssa Paula Paz Furlanetto², Vitor Schwenck Brandão³

Aluna de Graduação de Química Bacharelado, UFRJ/CETEM

² Geólogo, D.Sc. CETEM e UERJ

³Geólogo, M.Sc., bolsista PCI do CETEM

lcbertolino@cetem.gov.br

RESUMO

A palygorskita é um silicato complexo de magnésio constituída por cristais alongados, e quando comparada com outras argilas industriais apresenta propriedades físico-químicas que lhe conferem características adequadas aos vários usos industriais. Estas lhe propiciam propriedades adsorptivas favoráveis na indústria, controlada principalmente por dois fatores: a superfície da fibra mineral e os canais zeolíticos existentes ao longo na fibra mineral. Os principais depósitos de palygorskita no Brasil estão localizados no município de Guadalupe-PI, distribuídos por uma área de 700 km². O estudo visa a caracterização mineralógica e beneficiamento de duas amostras de palygorskita da região de Guadalupe-PI, através de métodos conhecidos (DRX, FRX, MEV, DTA-TG, Infravermelho e Análise Granulométrica) com intuito na aplicação na indústria. As amostras são constituídas majoritariamente de SiO₂, MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃, e posterior aos tratamentos realizados, nos óxidos de silício e ferro diminuíram sua concentração nas amostras de menor granulometria e nos óxidos de magnésio, o qual corresponde a palygorskita estudada, houve aumento na sua concentração final. Os resultados de DTA-TG indicaram perda de 1,5798% e 0,8751% da desidroxilação da água zeolítica presentes nos canais zeolíticos. A análise de densidade pelo método de picnometria indicou densidade 2,5104 (g/cm³). Os resultados das análises de CTC realizadas para ambas as amostras no decorrer do seu beneficiamento, indicaram resultados de 39,5 (meq/100) e 41 (meq/100).

ABSTRACT

The palygorskite is a complex silicate of magnesium consisting of elongated crystals, and when compared with other industrial clays present physico-chemical properties that provides appropriate to various industrial uses. These features provide adsorptive properties favorable in the industry, mainly controlled by two factors: the surface of the mineral fiber and zeolitic channels over the mineral fiber. The main palygorskite deposits in Brazil are located in the region of Guadalupe-PI, spread over an area of 700 km². The study aimed at the mineralogical characterization and processing of two samples of palygorskite of Guadalupe-PI, using acquainted methods (DRX, FRX, MEV, DTA-TG, Infrared and Particle Size Analysis) with intention in pharmaceutical industry application. The samples consist primarily of SiO₂, MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃ and posteriorly to performed treatments, silicium and iron oxides decreased his concentration in smaller granulometry samples and magnesium oxides, which correspond to the studied palygorskite, occurred increase in his final concentration. This grants the samples capacity of pharmaceutical industry application. The results of DTA-TG indicated loss of 1.5798% and 0.8751% in the dehydroxylation of the zeolitic water present in the zeolitics channels. The density analysis by the picnometry method indicated 2.5104 (g/cm³) density. The results of the CEC analyzes for both samples during the course of its processing results, indicated 39.5 (meq/100) and 41 (meq/100).

1. INTRODUÇÃO

A palygorskita é um argilomineral que vem cada vez mais sendo objeto de estudos de diversos trabalhos. Sua estrutura cristalina consiste em camadas de tetraedros de SiO₂ que apresentam vértices não partilhados, os quais apontam para cima ou para baixo, ocorrendo em cada duas cadeias (figura 1). Entre os oxigênios apicais de duas folhas tetraédricas situa-se a folha octaédrica, composta por átomos de magnésio (podendo estar substituído por alumínio ou ferro), formando uma estrutura em fitas assemelhada à estrutura em cadeia dos piroxênios e anfibólios. Esses átomos de oxigênios apicais são que limitam as dimensões laterais da cadeia octaédrica. A palygorskita ideal possui um caráter octaédrico (Suárez e Garcia-Romero, 2011).

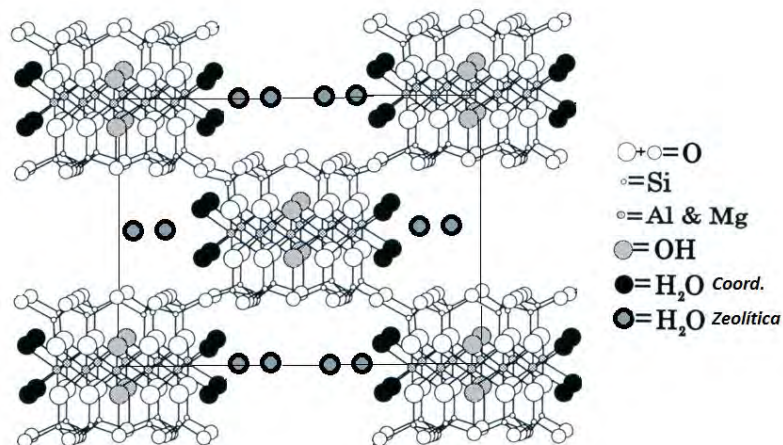


Figura 1: Imagem da estrutura da palygorskita planificada. Fonte: Xavier *et al.* (2012).

Quando comparada com outras argilas industriais (montmorillonita, caulinita etc.), a palygorskita apresenta alta superfície específica, alta sorção, poder decolorante, manutenção das propriedades tixotrópicas na presença de eletrólitos, etc. (Murray, 2000). Isto lhe confere grande gama de aplicações, como na indústria farmacêutica. Os microporos presentes em sua estrutura lhe permite capacidade de absorvência.

Os principais depósitos de palygorskita no Brasil estão localizados no município de Guadalupe-PI, distribuídos por uma área de 700 km². A região de coleta das amostras está inserida no contexto geotectônico da bacia do Parnaíba, no município de Guadalupe onde ocorrem os principais depósitos de palygorskita do Brasil (figura 2). Estudos vêm sendo desenvolvidos com a palygorskita da região visando à aplicação na indústria farmacêutica, cosmético (Silva *et al.*, 2011; Soares *et al.*, 2013) e ambiental (Middea *et al.*, 2013).

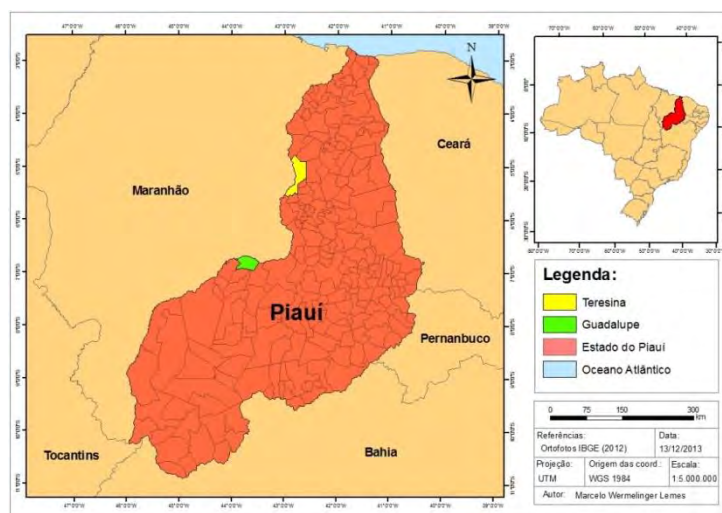


Figura 2. Mapa de localização da região de Guadalupe-PI.

2. OBJETIVOS

O estudo visa o beneficiamento e a caracterização mineralógica de amostras de palygorskita da região de Guadalupe-PI, a fim de determinar sua utilização na produção de fármacos e no abatimento de enxofre em amostras de diesel.

3. METODOLOGIA

Foram coletadas duas amostras de palygorskita Geomil e Mina Velha, com aproximadamente 10 kg cada, de duas jazidas localizadas no município de Guadalupe-PI. No Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) as amostras foram submetidas à classificação granulométrica, utilizando-se peneiras de 45 μm e 20 μm , a fração menor que 20 μm foi submetida a separação magnética em campo de aproximadamente 15.000 Gauss.

A caracterização mineralógica da amostra foi realizada através dos métodos de fluorescência de raios X (FRX), difratometria de raios X (DRX), microscópio eletrônico de varredura (MEV), espectroscopia infravermelho (IV), análise termodiferencial e termogravimétrica (DTA-TG) e análise granulométrica. O equipamento utilizado, para FRX, foi espectrômetro de fluorescência de raios X por comprimento de onda, modelo Axios Max – Panalytical. As análises de DRX foram realizadas em um equipamento Bruker-AXS D4 Endeavour com radiação $\text{CoK}\alpha$, e as análises com MEV foram realizadas em um equipamento MEV FEI Quanta 400 associado a um espectrômetro de energia dispersiva de raios X. O equipamento utilizado para classificação granulométrica foi o Malvern. Nesta etapa, foi feita uma dispersão com 5g de amostra seca e desagregada, e como dispersante 30 ml de água destilada e índice de refração 1,33. A análise de capacidade de troca catiônica (CTC) foi determinada pelo método de azul de metileno baseada na norma ASTM C-837-81 (anexo A).

As frações menores que 20 μm não magnéticas foram tratadas com peróxido (H_2O_2), em 15 g com 10 ml de água deionizada resultado em solução de palygorskita 1,7M para posterior adição.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados da caracterização mineralógica das amostras Geomil e Mina Velha. Na Figura 3 é apresentado difratograma de raios X das amostras Geomil, após classificação granulométrica, separação magnética e tratamento com peróxido.

Na figura 4 é apresentado o difratograma de raios X da amostra Mina Velha após classificação granulométrica.

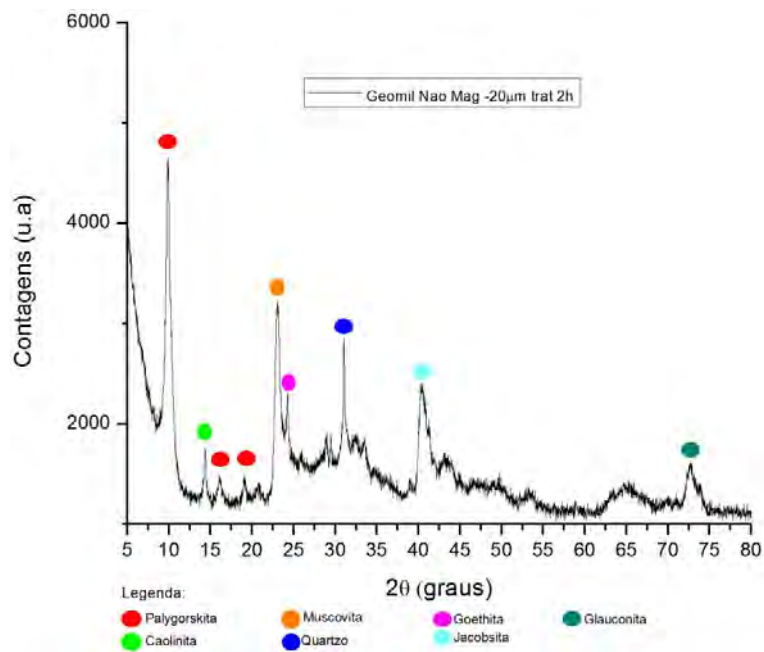


Figura 3: Difratograma de raios X das amostras Geomil -20 µm Não Mag Tratada com peróxido.

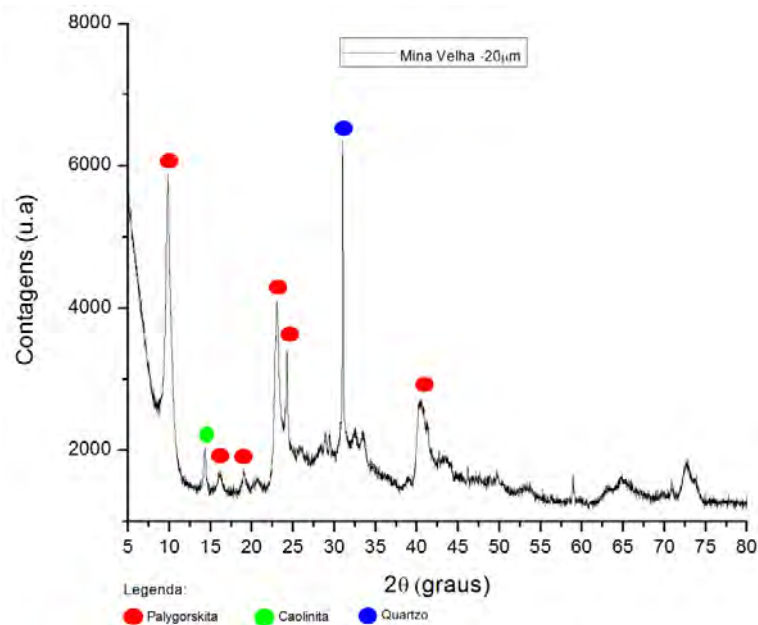


Figura 4. Difratograma de raios X amostras Mina Velha -20 µm.

Através dos difratogramas de raios X (Figuras 3 e 4) observa-se que as duas amostras apresentam composição mineralógica muito semelhante, sendo constituídas principalmente por palygorskita, quartzo, caulinita e na amostra Geomil jacobisita secundariamente. As frações mais finas apresentaram redução na intensidade dos picos de quartzo e aumento proporcional dos picos de palygorskita. Observa-se também na amostra Geomil de menor granulometria, redução a total desaparecimento dos picos referentes à jacobisita, a qual indica o Mn proveniente da amostra.

Fluorescência de Raios X

Na tabela 1 são mostrados os resultados das análises químicas por FRX das amostras de ambas as amostras.

Os resultados de FRX indicam que as amostras são constituídas predominantemente por MgO, Al₂O e SiO₂. As amostras são levemente ferruginosas porém não ricas em ferro. Palygorskitas ricas em ferro são raras. Segundo Suárez e Garcia (2011), para serem consideradas ricas em ferro somente quando o teor de ferro for maior do que de alumínio. A presença de K₂O e CaO podem ser relacionadas à impurezas como carbonatos e micas.

Tabela 1: Resultados das análises químicas por FRX (% em peso)

Óxidos	Mina Velha Não	Geomil Não Mag -
	Mag -20µm	20µm TRAT 2h
MgO	5,4	4,5
Al ₂ O	13,5	16,7
SiO ₂	53,5	49,7
K ₂ O	1,9	2,8
CaO	0,23	0,27
TiO ₂	0,55	0,70
MnO	0,13	0,21
Fe ₂ O ₃	7,0	8,3
*PPC	17,8	16,8

ANÁLISE DE DENSIDADE

A análise de densidade pelo método de picnometria, técnica laboratorial utilizada para fazer a determinação da densidade realizada pelo picnômetro, indicou densidade 2,5104 (g/cm³) para ambas as amostras.

CAPACIDADE DE TROCA CATIÔNICA

Os resultados das análises de CTC realizadas para ambas amostras no decorrer do seu beneficiamento indicou para amostra Geomil 39,5 (meq/100) e Mina Velha 41 (meq/100). Observou-se aumento nos valores da capacidade de troca catiônica no decorrer do beneficiamento das amostras, tendo como base o valor padrão encontrado para amostras de palygorskita, 30

meq/100. Valores de CTC muito baixos indicam que existe um alto conteúdo de material não ativo, tais como os quartzos e a caulinita (CARRIAZO, 2007).

DTA-TG

Nas figuras 5, 6 e na tabela 3 são apresentados resultados da análise de DTA-TG para cada amostra, mostrando os patamares de desidroxilação.

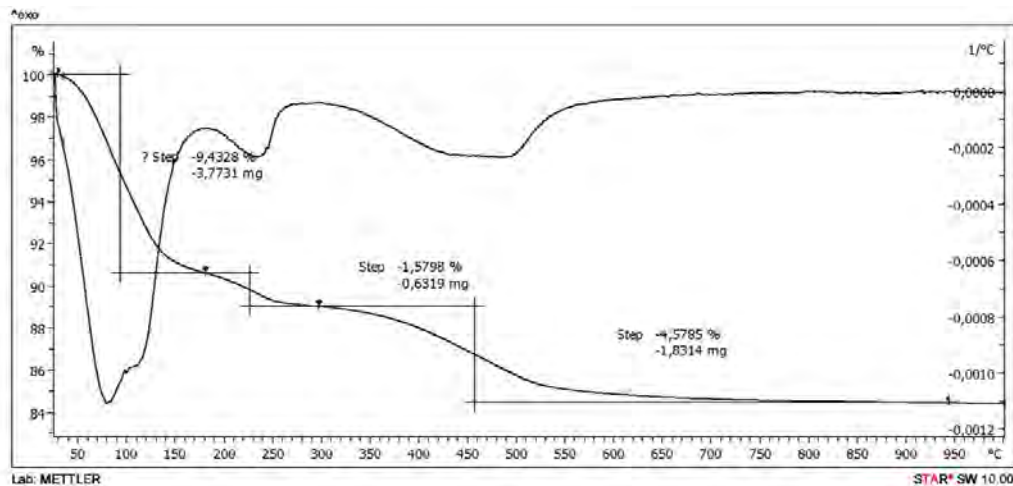


Figura 5. Gráfico de DTA-TG da amostra Mina Velha -20 µm.

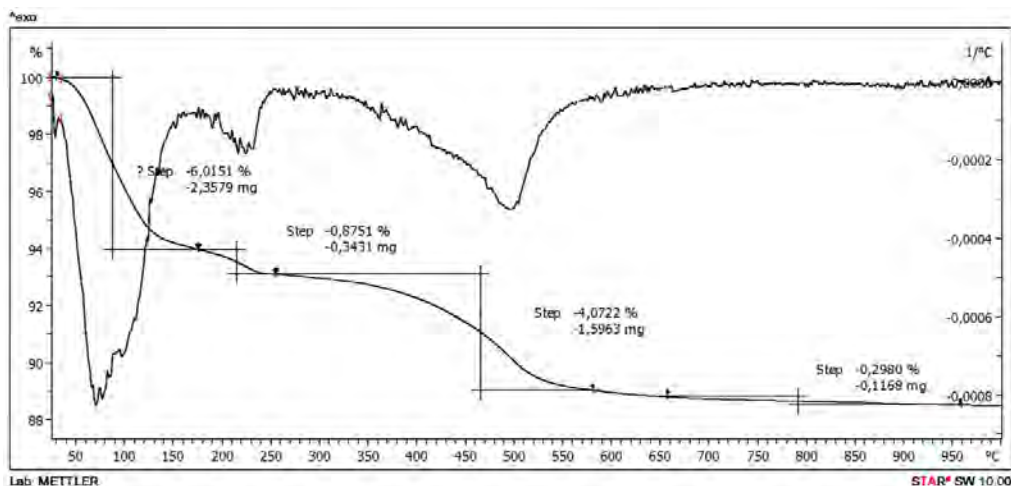


Figura 6. Gráfico de DTA-TG da amostra Geomil Não Mag -20µm TRAT2h.

Nas curvas de DTA-TG ocorrem três patamares bem definidos. O primeiro é da desidroxilação da água de umidade (água coordenada a cátions da folha octaédrica). O segundo da desidroxilação da água zeolítica (presente nos canais no qual interage tanto com a molécula de H₂O coordenada quanto a folha tetraédrica), o de interesse neste trabalho. O terceiro da desidroxilação da água estrutural. Através da análise da segunda desidroxilação pode-se observar menor porcentagem da

água zeolítica nos canais zeolíticos para amostra Mina Velha -20 μ m, indicando em torno de 80% menor de água zeolítica e assim maior absorvência, em relação a amostra Geomil.

Tabela 3. Resultados das análises de DTA-TG.

Intervalos (%)	Mina Velha Não	Geomil Não Mag -
	Mag -20 μ m	20 μ m TRAT 2h
D1	-9,4328	-6,0151
D2	-1,5798	-0,8751
D3	-4,5785	-4,0722

Microscopia Eletrônica de Varredura

Na figura 7 são apresentadas imagens obtidas através do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

Através das imagens apresentadas nas figura 7 observa-se que as amostras são constituídas por palygorskita na forma fibrosa apesar da sua agregação na imagem, o que lhe confere sua capacidade de absorvência, de grande importância nas aplicações industriais. Ainda observa-se também que mesmo com os tratamentos aplicados nas amostras, há presença de impurezas como o quartzo.

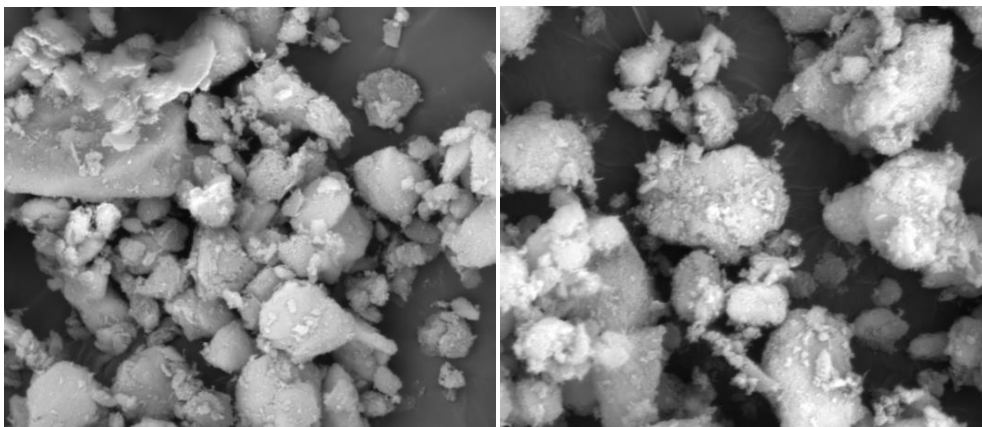


Figura 7. Imagem da amostra Mina Velha -20 μ m e Geomil Não Mag -20 μ m TRAT 2h, respectivamente.

INFRAVERMELHO

As figuras 11 e 12, apresentam os infratogramas após etapas do beneficiamento das amostras Geomil e Mina Velha, respectivamente.

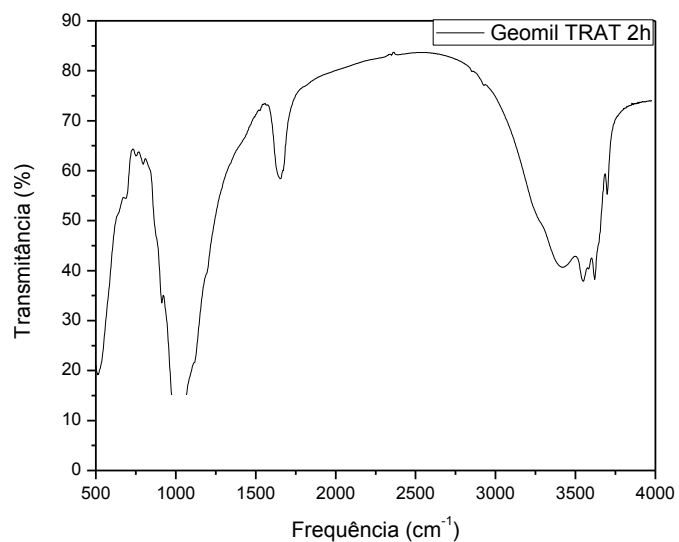


Figura 11. Infratograma da amostra de Geomil TRAT 2h.

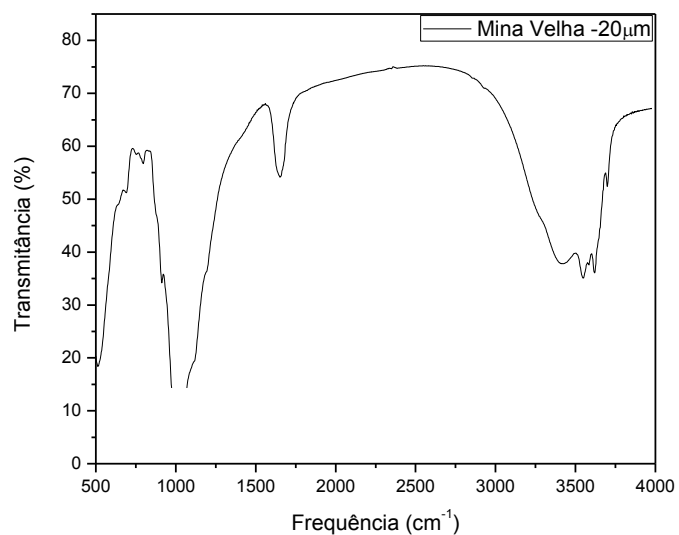


Figura 12. Infratograma da amostra de Mina Velha -20µm.

Os infratogramas indicaram similaridade, apresentando banda de 1090 cm^{-1} demonstrando estiramento da base de silicato tetraédrica, a banda de 3615 cm^{-1} que indica o estiramento vibracional de Al_2OH e banda de 3551 cm^{-1} que sugere estiramento vibracional de $\text{Fe}^{+3}\text{Fe}^{+3}\text{OH}$, além da coordenação de H-OH.

5. CONCLUSÕES

A caracterização mineralógica indica que as amostras da região de Guardalupe-PI são constituídas principalmente por palygorskita, quartzo e secundariamente por muscovita, caulinita, goethita e jacobsita. Os resultados obtidos após a separação magnética, classificação granulométrica e tratamento com peróxido indicam o decréscimo proporcional do quartzo e manganês, referente a jacobsita, relacionados às impurezas e o aumento proporcional da palygorskita, elevando seu grau de pureza. Os infratogramas mostraram o estiramento das ligações Si-O-Si, Fe⁺³Fe⁺³OH, Al₂OH e banda que indica a coordenação da ligação H-OH. Os resultados de DTA-TG indicaram perda de 1,5798% e 0,8751% da água zeolítica presente nos canais zeolíticos, indicando maior absorvência alcançada. As imagens obtidas pelo MEV indicaram que o beneficiamento foi alcançado mantendo a estrutura fibrosa do argilomineral.

6. REFERÊNCIAS

MIDDEA, A.; FERNANDES, T.L.A.P.; NEUMANN, R.; GOMES, O.F.M.; SPINELLI, L.S. 2013. **Evaluation of Fe(III) adsorption onto palygorskite surfaces**. Appl. Surf. Sci., 282, 253-258. Doi:10.1016/j.apsusc.2013.05.113.

MURRAY, H.H. 2000. **Traditional and new applications for kaolin, smectite, and palygorskite: a general review**. Appl. Clay Sci., 17, 207-221.

SILVA, P.C.; OLIVEIRA, S.M.B.; FARIAS, L.; FÁVARO, D.I.T.; MAZZILLI, B. 2011. **Chemical and radiological characterization of clay minerals used in pharmaceuticals and cosmetics**. Appl. Clay Sci., 52, 145-149. Doi: 10.1016/j.clay.2011.02.013.

SOARES, D.S; FERNANDES, C.S; COSTA, A.C.S; RAFFIN, F.N; ACCHAR, W; MOURA, T.F.A.L. **Characterization of palygorskite clay from Piauí, Brazil and its potencial use as excipient for solid dosage forms containing anti-tuberculosis drugs**. J Therm Anal Calorim, v.113, p 551, 2013.

SUAREZ, M., GARCÍA-ROMERO, E. 2006. **FTIR spectroscopic study of palygorskite: influence of the composition of the octahedral sheet**. Appl. Clay Sci., 31, 154-163. Doi: 10.1016/j.clay.2005.10.005.

K. C. M. Xavier , E C. Silva Filho, M. S. F. Santos, M. R. M. C. Santos e A. B. Luz. **Caracterização mineralógica, morfológica e de superfície da atalpigita de Guardalupe-PI**, 2012.

OS IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA EXTRAÇÃO DE CALCÁRIO NO MUNICÍPIO DE JANDAÍRA/RN

*Nayane da Silva Lima*¹, *Jessica Mirelle Berto da Silva*², *Marcos Aurélio de Oliveira Maia*³

¹ Aluna do curso técnico subsequente de Mineração, IFRN/CNAT.

² Aluna do curso técnico subsequente de Mineração, IFRN/CNAT.

³ Especialista e Professor nos cursos de Mineração e Geologia, IFRN/CNAT.

Nayane_s_lima@hotmail.com

RESUMO

O trabalho apresentado tem como objetivo relatar os principais impactos ambientais causados pela extração de calcário no município de Jandaíra, localizado na mesorregião agreste potiguar. Essa rocha sedimentar é formada a partir do mineral calcita, onde sua composição química é o carbonato de cálcio (CaCO_3). Comumente, em grandes empresas a sua forma de extração é feita a céu aberto utilizando métodos que ocorrem através da remoção do capeamento, perfuração, desmonte por explosivos e transporte a usina de Processamento Mineral. No entanto, por possuir uma forma primitiva, Jandaíra não tem estrutura técnica para executar essas atividades mais avançadas, decorrente a isso, todo o seu processo é feito manualmente, causando assim, mais impacto ao meio ambiente. Desde sua fase inicial até a calcinação, que também é feita de forma artesanal em caieiras simples, são usados fornos a lenha, que são construídos artesanalmente, em virtude disso a maioria não possui legalização como empresas, funcionando em condições de trabalho informais e insalubres, de forma precária. A utilização de lenha nas caieiras causa uma crescente modificação na paisagem local devido à prática constante e incontrolada, além dela usam-se também borrachas, pneus e cascas de castanha de caju. Uma alternativa para diminuir essa degradação seria a troca de fornos a lenha por fornos a gás, e em relação ao desmatamento ocorrido, poderia ser feito a recuperação da vegetação nativa, dessa forma minimizaria a degradação ambiental, aumentando assim uma produção menos impactante a população e ao meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: impactos, extração, calcário.

ABSTRACT

The presented paper aims to describe the main environmental impacts caused by limestone extraction in the municipality of Jandaíra, located in the middle region of Natal. This sedimentary rock is formed from the mineral calcite, which chemical composition is calcium carbonate (CaCO₃). Commonly in large enterprises the extraction is done in the open using methods that occur by removing the capping, drilling, blasting by explosives and transport to the mineral processing plant. However, because it has a primitive form, Jandaíra does not have the technical infrastructure to perform these more advanced activities, because of this, the whole process is done manually, thus causing more impact on the environment. Since its initial phase until the calcination, which is also made by hand in simple kilns, wood stoves are used, which are built by hand, given that the majority does not have legalization as companies, working in informal and unhealthy working conditions, precariously. The use of wood in kilns causes an increasing change in local landscape due to the constant and uncontrolled practice; they also are used rubbers, tires and cashew nut shells. An alternative to reduce this degradation would be the exchange of wood stoves for gas furnaces, and in relation to the ongoing deforestation, a recovery of the native vegetation could be done to minimize environmental degradation, thus increasing a less harmful production to people and to the environment.

KEYWORDS: impacts, extraction, limestone.

1. INTRODUÇÃO

O município de Jandaíra está localizado no estado do Rio Grande do Norte, inserido na microrregião da Baixa Verde. De acordo com censo realizado pelo IBGE no ano 2010, sua população era de 6.801 habitantes e sua área territorial equivalente a 426 km². A região possui um clima muito quente e semi-árido, sua vegetação é a caatinga, onde apresenta arbustos e árvores com espinhos e dentre as espécies mais encontradas destacam-se a catingueira, angico, braúna, juazeiro, marmeleiro, mandacaru, umbuzeiro e aroeira. O solo existente é o Cambissolo Eutrófico com fertilidade natural alta, textura média, relevo plano, acentuadamente drenado e raso. Geologicamente a cidade é encontrada na Província da Borborema, sendo constituído pelos

sedimentos Formação Jandaíra (K2j) e do Grupo Barreiras (ENb), como podem ser observados na figura 1. A cidade é considerada uma das maiores produtoras de cal do estado, em 2001 segundo Carvalho *et al.* o município já contava com 250 pessoas envolvidas com a atividade informal de extração de calcário, atualmente, estima-se mais de 500 pessoas envolvidas com o setor.

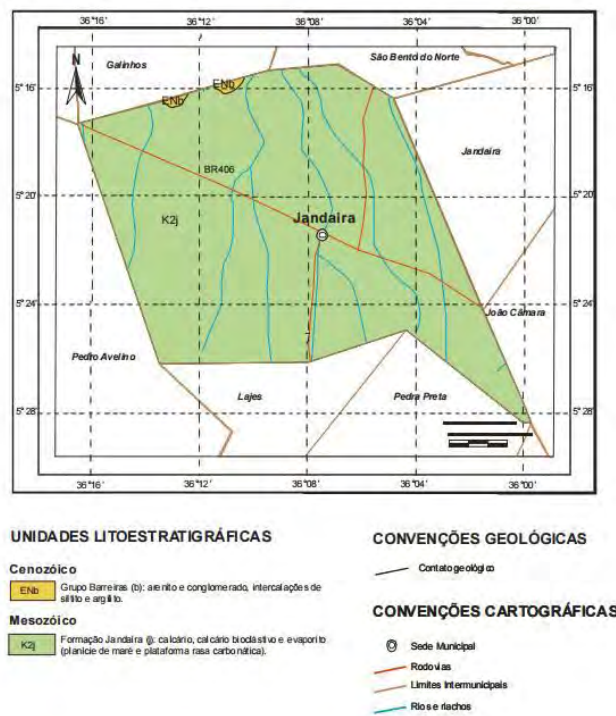


Figura 1 – Mapa Geológico (CPRM – Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea Diagnostico do município de Jandaíra/RN).

1.1. O calcário e seus impactos

Os calcários aflorados da formação Jandaíra tem as seguintes características: são cremes a cinzentos, muito compactos, de textura fina a média, fratura irregular, geralmente fossilíferos, caracterizando-se por uma recristalização generalizada, difusa e, às vezes, pela presença de cavidades alveolares sub milimétricas. São identificados diversos teores de calcário na região, variando de composição calcítica até dolomítica.

Embora, Jandaíra seja uma grande produtora de cal, o processo de produção do calcário não é legalizado pelo DNPM, promovendo assim segundo Santos, Neto & Silva (2002) impactos ambientais na região, como desmatamento das áreas de Caatinga e interferências nas estruturas das cavernas. Além disso, a extração de calcário, inevitavelmente, desfaz as paisagens e destrói os sítios de interesse espeleológico, arqueológico e indígena. Devido a isso, seus efeitos tiveram

desdobramentos graves: o desmatamento aumentou a erosão do solo e os sedimentos erodidos foram depositados no interior de tal maneira a afetar o equilíbrio do ecossistema. Sem falar dos impactos sociais (informalidade, desemprego, exploração ilegal de recursos naturais, marginalidade e trabalho infantil) e do desperdício do potencial geológico para a extração do calcário, tanto calcítico quanto dolomítico, e sua caracterização tecnológica para as mais diversas aplicações industriais (seja como fundente na metalurgia, na indústria do cimento, ou até mesmo, para a produção de cal com melhor qualidade de aproveitamento).

1.2. Processo produtivo

O procedimento para a produção da cal é bastante homogênea no município. Consiste na extração manual do calcário e no transporte em caminhões que suportam aproximadamente 7 toneladas de capacidade para as unidades de beneficiamento onde o material é colocado em fornos convencionais cilíndricos, bastantes rudimentares, com cerca de 4 m de diâmetro e 4 m de altura, conhecidas como caieiras. Elas são construídas em tijolos cerâmicos maciços com amarrações laterais e uma cobertura de um solo ao seu redor para minimizar a perda de calor, aumentar a estabilidade das paredes e formar rampas de acesso. As árvores mais usadas para a queima nas caieiras são a umburana e a Catanduva. No entanto, também são queimados cajueiros, aveloz, umbuzeiro, dentre outras. Indicando assim uma redução significativa da fauna e da flora e o aumento das distâncias das áreas da extração de lenha. A cal produzida é vendida para lojas de materiais de construção em Natal/RN e outras cidades do estado do RN e Paraíba, na forma de cal virgem e hidratada, repassada para as empresas de construção civil ou particulares que as utilizam como argamassas e tintas. O processo não tem nenhum controle de qualidade realizado por laboratório, prevalecendo a tradição de várias décadas fornecendo ao mercado consumidor. A figura 2 mostra a extração do calcário, utilizando técnicas rudimentares, já na figura 3 apresenta as caieiras típicas da região.



Figura 2 – Extracção de calcário em Jandaíra – RN (Foto: J. Yvan Leite).



Figura 3 – Caieira típica utilizada na região (Foto: J. Yvan Leite).

2. SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA ABORDADO

Uma alternativa eficaz para solucionar o problema ambiental causado pela extração indevida de calcário é fazer o replantio contínuo das plantas nativas utilizadas para alimentar os fornos, preservando a vegetação da região e não alterando a paisagem local; as caieiras ao invés de funcionarem a lenha, seria substituída pelo gás, como fonte de calor para a calcinação do calcário. Outro fator determinante para melhorar a expansão da produção do material extraído, é a implantação de APLs (Arranjos Produtivos Locais) que caracteriza-se por um grande número de firmas envolvidas nos diversos estágios produtivos e, de várias maneiras, na fabricação de um

mesmo produto, contribuindo para a legalização da atividade e dos trabalhadores que passarão a ter salários fixos e direito aos benefícios do governo. Um fato preocupante para a área da mineração e da população de Jandaíra e que já está ocorrendo nas regiões circunvizinhas, é o estabelecimento de parques eólicos em grandes áreas abertas e com uma alta incidência de vento, ou seja, se a extração de calcário continuar na informalidade corre um grande risco de perder a sua área de trabalho e conseqüentemente os empregos gerados serão extintos. Por isso, reafirma-se que é de suma importância a legalização desses trabalhadores por meio de uma cooperativa.

3. CONCLUSÃO

A extração irregular do calcário em Jandaíra/RN necessita de uma reavaliação, pois ela impacta diretamente na fauna e na flora da região, tendo como alimentação de seus fornos lenhas extraídas da vegetação nativa e que com os altos períodos de seca na área se tornam cada vez mais extintas.

É necessário capacitar os trabalhadores envolvidos nesse processo, para que eles disponham de técnicas mais aprimoradas e recursos tecnológicos que contribuam de forma positiva no aumento da produção de cal na região.

4. REFERÊNCIAS

CARVALHO, O.O.; REGO, J.M.; LEITE, J.Y.P. Perfil da indústria de cal no Rio Grande do Norte. Natal: SENAI,2000.

GRUPO DE TRABALHO PERMANENTE PARA OS ARRANJOS PRODUTIVOS LOCAIS. Manual de apoio aos arranjos produtivos locais, 2003 p. 12 – 108.

Jandaíra (RN). In: IBGE Cidades 2010c. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/link.php?codmun=240510>. Acesso em: 29 jan. 2016.

Limaverde, J. A., Souza, E. T. e Gomes, F. A. L., A Indústria de calcários e dolomitos no Nordeste. BNB, Fortaleza. 1997. p. 303.

PREFEITURA DE JANDAÍRA. Disponível em: <http://www.jandaira.rn.gov.br/?page_id=87>. Acesso em: 16 jan. 2016.

SILVA, José Otávio da. Produto RT 55, Perfil do calcário agrícola. Ministério de Minas e Energia, J. Mendo Consultoria, Secretaria De Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Banco Mundial: Projeto Estal, set. 2009. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_mineracao_brasileira/P27_RT38_Perfil_do_Calcxrio.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2016.

UTILIZAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA PARA MINIMIZAR OS IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DO DESMONTE DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Paulo H.M. do Nascimento¹, Julio Cesar de Pontes², Valdenildo Pedro da Silva³, Vera L.A. de Lima⁴

¹ Aluno - Diretoria Acadêmica de Recursos Naturais (DIAREN) - IFRN - Avenida Senador Salgado Filho, 1559, Tirol – Natal – RN – CEP: 59150-015;

² Professor Doutor – Diretoria Acadêmica de Recursos Naturais (DIAREN) – IFRN - Avenida Senador Salgado Filho, 1559, Tirol – Natal – RN – CEP: 59150-015;

³ Professor Pesquisador - Diretoria Acadêmica de Recursos Naturais (DIAREN) – IFRN - Avenida Senador Salgado Filho, 1559, Tirol – Natal – RN – CEP: 59150-015;

⁴ Professora Doutora – Universidade Federal de Campina Grande – Campina Grande-PB
E-mail: p.h_morais@yahoo.com.br

RESUMO

A atividade de mineração no Brasil, no curso dos últimos anos, tem apresentado um progresso expressivo, constituindo-se num dos setores responsáveis por gerar riquezas ao país. Entretanto, como toda a atividade humana tem resultado em difusão de impactos ambientais, e o tipo da mineração desse estudo não está isenta dessa realidade. Portanto, é vital que se tenha um estudo detalhado dos impactos gerados por essa atividade, principalmente quando envolve a população do entorno das operações de desmonte de rocha. Assim sendo, o objetivo desse artigo é o de analisar a utilização de estratégias de produção mais limpa como ações de mitigação dos impactos ambientais decorrentes do desmonte de rochas ornamentais. Para alcançar esse objetivo, o estudo seguiu alguns passos metodológicos, como: levantamento de literaturas, realização de leituras, elaboração de fichamentos e de textos iniciais. A partir da adoção de estratégias de Produção mais Limpa, obteve-se como resultados a diminuição de impactos como, ultralaçamento, ruídos, poeiras e gases tóxicos, vibrações e custos de produção. Conclui-se que a aplicação da Produção mais Limpa é de fundamental importância para minimizar os impactos ambientais e também sensibilizar a sociedade para melhor aproveitar os recursos naturais existentes.

PALAVRAS-CHAVE: Desmonte de rochas. Produção mais limpa. Impactos ambientais.

ABSTRACT

The mining activity in Brazil, in the course of recent years has shown significant progress, becoming one of the sectors responsible for generating wealth in the country. However, as all human activity has resulted in dissemination of environmental impacts, and the type of mining this study is not exempt from this reality. Therefore, it is vital to have a detailed study of the impacts generated by this activity, especially when it involves the surrounding population of rock blasting operations. Therefore, the aim of this article is to analyze the use of cleaner production strategies and actions to mitigate environmental impacts of dismantling of ornamental rocks. To achieve this goal, the study followed some methodological steps, such as lifting literatures, performing readings, preparation of fichamentos and early texts. Since the adoption of production strategies Cleaner, was obtained as a result the reduction of impacts as ultralaçamento, noise, dust and toxic gases, vibrations and production costs. It concludes that the application of Cleaner Production is crucial to minimize environmental impacts and also sensitize society to make better use of natural resources.

KEYWORDS: Disassemble rocks. cleaner production. Environmental impacts.

1. INTRODUÇÃO

A atividade da mineração necessária para o desenvolvimento industrial do país, em seus mais diversos setores produtivos, sempre foi um dos sustentáculos dos poderes econômico e político. Atualmente é responsável por uma parcela considerável na formação do produto interno bruto brasileiro.

O Brasil está entre os cinco maiores produtores de rochas ornamentais no mundo, empregando diretamente 100 mil pessoas, sendo seus produtos utilizados principalmente na construção civil.

Comercialmente, as rochas ornamentais são definidas essencialmente à luz de duas principais categorias, que são os “granitos” e os “mármore”, distinguidas com base na sua composição mineralógica. Os granitos abrangeriam as rochas silicatadas, ou seja, formadas por

minerais estruturalmente constituídos por tetraedros de SiO_4 , ao passo que os mármorem incluiriam as rochas de composição carbonáticas. Estas duas categorias de rochas respondem largamente pelas variedades de rochas ornamentais e de revestimento comercializadas, representando cerca de 80% da produção mundial. (VIDAL, 2002)

No Brasil, dados da ABIROCHAS/CETEM (2002) indicam que os “granitos” correspondem a 57% da produção nacional de rochas ornamentais, enquanto apenas 19% são relativos aos “mármorem”.

Os impactos decorrentes do desmonte de rocha na pedreira, associados a uma demanda estimulada pela especulação imobiliária e competição pelo uso e ocupação do solo, geram diversos conflitos socioambientais, cujas complexidades se devem à falta de metodologias de intervenção, que reconheçam a pluralidade dos interesses envolvidos. Os conflitos gerados por essa atividade mineral, inclusive em várias regiões metropolitanas no Brasil, devido à expansão desordenada e sem controle dos loteamentos nas áreas limítrofes, exigem uma constante evolução na condução dessa atividade para evitar situações de impasse. (SÁNCHEZ, 1989)

Portanto, incorporar a preocupação ambiental, o bem-estar social com a saúde do trabalhador a partir do momento que se pretende reduzir custos e acrescentar índices de produtividade, com uma melhor imagem perante a sociedade, requer a agregação da aplicação de técnicas de Produção mais Limpa. Essas contribuem para uma melhor gestão dos recursos naturais. Diante do exposto, a aplicação desta ferramenta é de fundamental importância para minimizar os impactos ambientais e sensibilizar a sociedade para melhor aproveitar os recursos naturais existentes.

Segundo o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (PNUDI apud SÁNCHEZ, 2001), incluir a Produção mais Limpa requer mudanças de atitudes, gestão ambiental responsável e promoção da inovação tecnológica. Essa estratégia de melhoria do desempenho ambiental pode contribuir com a prevenção integrada aos processos, produtos e serviços para aumentar a ecoeficiência e evitar ou reduzir os danos ao homem e ao ambiente. Por isso, o objetivo do presente estudo é analisar a utilização de estratégias de produção mais limpa como ações de mitigação dos impactos ambientais decorrentes do desmonte de rochas ornamentais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo resultou a partir de alguns passos metodológicos, como: levantamento de literaturas, leituras, fichamento e elaboração de textos iniciais sobre o tema, objetivando analisar

a utilização de estratégias de produção mais limpa como ações de mitigação dos impactos ambientais decorrentes do desmonte de rochas ornamentais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da metodologia utilizada foram identificados os problemas ambientais mais usuais do desmonte de rochas ornamentais, dando ênfase na aplicação da ferramenta de gestão ambiental Produção mais Limpa, mas também apontando vias para sua redução, incluindo novas soluções técnicas para tais problemas, buscando melhor equilíbrio entre os requisitos de proteção ambiental, as pressões da opinião pública e as atividades de pedreiras. A partir dos suportes teóricos e dos procedimentos metodológicos adotados, os resultados do estudo em pauta estão apresentados a seguir.

3.1 Ultralaçamento

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, em sua norma NBR 9.653, define ultralaçamento como o arremesso de fragmentos de rocha decorrente do desmonte com uso de explosivos, além da área de operação (ABNT, 2005).

O ultralaçamento é um dos efeitos maléficos resultante do desmonte e apresenta o principal risco de acidente envolvendo os trabalhadores e a população do entorno.

Na tentativa de minimizar esse impacto ambiental propomos técnicas de mitigação como, evitar afastamento insuficiente ou excessivo, evitar desvio no furo, utilizar retardos entre linhas ou entre furos, adequar o plano de fogo à rochas com anomalias geológicas, usar tampão adequado e certificar-se que o talude remanescente estar preservado.



Figura 1 – Ultralaçamento de fragmentos, Pontes 2013.

3.2 Ruído e Sobrepressão Atmosférica

A poluição sonora provocada pelas atividades de desmonte com explosivos está relacionada aos ruídos das detonações, do trânsito de caminhões e máquinas. O que mais incomoda a população do entorno é o procedimento da detonação secundária dos blocos, e este incomodo sendo realizado de forma continuada provoca danos à saúde e ao bem estar da população exposta.

Definindo sobrepressão atmosférica como toda propagação de uma onda elástica pelo ar, Eston (1998) considera ruído como a sobrepressão situada na faixa de frequências entre 20 Hz e 20.000 Hz que é considerada desagradável segundo algum critério humano. As sobrepressões com frequências inferiores a 20 Hz denominam-se infra-sons e aquelas com frequências superiores a 20.000 Hz, ultra-sons.

Sanchez (1995) e Eston (1998) consideram, entretanto, que as principais fontes de sobrepressão – uma vez que definem ruído como uma sobrepressão em faixa de frequência audível – em um desmonte de rochas com explosivos estão relacionadas a liberação de gases através de fraturas e da parte superior da coluna de explosivos, como: ejeção do tampão, a detonação de explosivos não confinados, o deslocamento da fração do maciço rochoso sujeita ao desmonte e a refração das ondas sísmicas através da atmosfera.

O limite de pressão acústica admitido pela ABNT é de 134 dBL pico no ambiente externo à área de operação da mina, assim entendida como aquela sujeita a concessão, licenciamento ou área de propriedade da empresa.

Para minimização desse impacto ambiental deve-se utilizar o sistema de iniciação silencioso (Sistema Nonel), evitar a utilização de cordel detonante e otimizar o plano de fogo.

3.3 Poeiras e gases tóxicos

Para Rodrigues (1993) e Ribeiro (1995) o lançamento de material particulado fino (poeira) para a atmosfera decorre das atividades de desmonte, carregamento e transporte. Além de causar desconforto ambiental, a poeira é também nociva à saúde humana, provocando diversas doenças no sistema respiratório, das quais as mais graves são as pneumoconioses. As pessoas mais afetadas são aquelas que trabalham diretamente junto aos focos emissores de poeira (constituindo uma questão de saúde ocupacional), mas em graus variáveis afeta também os moradores das áreas circunvizinhas às minerações.

Com a finalidade de minimizar esses impactos ambientais devem ser empregadas as seguintes medidas: evitar sobrecargas nos furos, molhar o material desmontado, evitar uso de explosivo exsudado, não retirar os invólucros dos cartuchos, não adicionar quaisquer substâncias combustíveis, utilizar equipamentos de perfuração dotados de coletores de pó ou a realização de perfuração a úmido, fazer uso de cortina vegetal e realizar as detonações em condições atmosféricas que facilitem a dispersão da poeira minimizando seus efeitos maléficos sobre a população.



Figura 2 – Geração de poeiras e gases tóxicos.

3.4 Vibrações propagadas pelo terreno

O desmonte de rocha com explosivos produz ondas sísmicas que refletem, causando o fraturamento do maciço rochoso, essas ondas procuram preferencialmente as zonas de menor resistência, ou seja, a superfície, causando vibrações. As ondas se atenuam em decorrência do atrito interno, que se transforma em calor. Esse é um dos cuidados que deve ser priorizado, como também, ter conhecimentos do comportamento das propriedades da rocha a ser trabalhada, pois os resultados das detonações são mais influenciados pelas propriedades do maciço rochoso do que pelas propriedades dos explosivos.

A parte da energia explosiva que é utilizada no mecanismo de fragmentação, como também, não é usada em trabalho útil, provoca perturbações que se manifestam pela movimentação de suas partículas constituintes em torno de sua posição de equilíbrio, que será tão acentuada quanto maior for à intensidade da perturbação, dentro dos limites elásticos do meio. Essa movimentação de partículas é transmitida àquelas situadas em seu entorno, e assim sucessivamente, causando a propagação da onda através do maciço. Manifestam-se inicialmente

como ondas compressivas, às quais se seguem ondas cisalhantes e sua interação em interfaces com o ar geram ondas de superfície.

E para minimizar ou diminuir a vibração deve ser adotado os seguintes procedimentos: reduzir o diâmetro de furação, adotar retardos dentro dos furos, limitar a carga máxima por espera, utilizar retardos de no mínimo 20 ms, reduzindo a quantidade de explosivo que detona simultaneamente.

3.5 Produção Mais Limpa

A Produção mais Limpa tem suas origens nas propostas correlatas estimuladas pela Conferência de Estocolmo de 1972, como o conceito de tecnologia limpa (clean technology), um conceito de tecnologia que deveria alcançar três propósitos distintos, porém complementares: lançar menos poluição ao meio ambiente, gerar menos resíduos e consumir menos recursos naturais, principalmente os não renováveis (BARBIERI, 2004).

Segundo SEBRAE (2011), Produção mais Limpa é a aplicação de uma estratégia técnica, econômica e ambiental integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem dos resíduos e emissões geradas, com benefícios ambientais de saúde ocupacional.

Já de acordo com CEBDS (2004), entende-se como Produção mais Limpa, a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva e integrada a processos, produtos e serviços para aumentar a eficiência global e reduzir riscos aos seres humanos e ao ambiente natural.

De forma geral, vale destacar alguns elementos chaves formadores do conceito de Produção mais Limpa, sendo eles: estratégia, prevenção, integração e redução de risco. Desta forma, pode-se considerá-la como uma Ferramenta de Gestão Ambiental aplicada a partir de uma estratégia preventiva e integrativa, tanto para serviços quanto para processos e produtos, de forma a se reduzir os riscos ambientais e possibilitar maior segurança ao trabalhador.

A preocupação de ter um marco teórico da Produção mais Limpa, parte de um entendimento errôneo em pensar que trata-se de uma fase posterior à implementação de um sistema de gestão ambiental. Vale salientar que essa ferramenta tem se mostrado como uma forma efetiva de controle da poluição e de redução de impactos ambientais (PIMENTA, 2008).

Contemporaneamente, torna-se importante avaliar os benefícios da Produção mais Limpa para a saúde dos trabalhadores. Neste sentido, ressalva-se que a qualidade no processo produtivo (Qualidade Total) deve está correlacionada com a qualidade nas condições de trabalho.

Segundo Husband et al. (1999), custos e outros impactos não explicam totalmente porque as pequenas e médias empresas não têm adotado os métodos de qualidade num nível significativo. A falta de entendimento e a baixa interpretação desses métodos por parte dos proprietários, gerentes e operadores das pequenas e médias empresas podem justificar o pouco uso desses métodos. A Produção mais Limpa pode ser facilmente comparada a um desses métodos de qualidade e dessa forma, encontra na falta de conhecimento das empresas, a respeito dos benefícios trazidos pelo uso dessa metodologia, uma barreira para sua implementação.

Baseando-se nas ideias de Fernandes (2001), a Produção mais Limpa pressupõe quatro atitudes básicas. A primeira, e a mais importante, é a busca pela não geração de resíduos, através da racionalização das técnicas de produção; a segunda atitude proposta é a minimização da geração dos resíduos; a terceira atitude é o reaproveitamento dos resíduos no próprio processo de produção, enquanto a quarta alternativa é a reciclagem, com o aproveitamento das sobras ou do próprio produto para a geração de novos materiais (HENRIQUES e QUELHAS, 2007).

Adaptando esse conceito para o desmonte de rocha impõe-se a questão ambiental através da redução na eliminação ou minimização dos riscos ao trabalhador, tornando-se possível a adequação aos requisitos do desenvolvimento sustentável, dentro de uma condição essencialmente relacionada à “ecoeficiência”. Logo, qualquer que seja o modelo utilizado terá que provê métodos de análise dos impactos socioambientais e propor soluções econômicas e técnicas que visem melhoria na produção da empresa e principalmente prevenir e melhorar a saúde dos trabalhadores.

A Ferramenta de Gestão Ambiental Produção mais Limpa, aplicada a partir de uma estratégia preventiva na atividade do desmonte de rocha, verificando-se as etapas de decapeamento do terreno, desmonte, carregamento e transporte, visa minimizar os impactos ambientais e o risco aos trabalhadores através da identificação dos elementos das atividades que interagem com o meio ambiente, ou seja, os aspectos ambientais.

4. Conclusões

A avaliação dos impactos ambientais acarretados pelo desmonte de rocha, utilizando substâncias explosivas, constitui-se numa atividade técnico-científica essencial para a instalação do empreendimento mineiro, para monitoramento dos seus efeitos ambientais, fornecendo instrumentos para uma correta gestão ambiental por parte da empresa, da administração pública e da comunidade envolvida.

Os problemas ambientais e o encaminhamento para soluções geralmente não são suficientes para permitir uma convivência harmônica entre as minerações e as populações do entorno, porém, fornece subsídio sobre o qual será efetuada a avaliação dos benefícios econômicos e sociais.

Diante do exposto, a aplicação da Produção mais Limpa é de fundamental importância para minimizar os impactos ambientais e sensibilizar a sociedade para melhor aproveitar os recursos naturais existentes, pois reduz custos operacionais, além de buscar soluções economicamente viáveis para a redução da geração dos resíduos, ou até mesmo a não geração de “sobras” nas etapas ao longo do processo (HENRIQUES e QUELHAS, 2007).

É necessário o uso de tecnologias adequadas, para que se conheça a relação existente entre o projeto e a execução do plano de fogo, levando-se em consideração a relação causas com os efeitos, procurando sempre controlar os danos ao meio ambiente.

A aplicação contínua da Produção mais Limpa tende a reduzir os efeitos maléficos da atividade do desmonte de rochas ornamentais, tornando o uso dos recursos naturais mais eficiente, minimizando a poluição ambiental e os riscos para a saúde humana.

Portanto, com a realização deste trabalho foram propostas técnicas que atenuam os impactos negativos advindos de ultralancamento, ruídos, vibrações, poeiras e gases tóxicos, através da aplicação do modelo de gestão ambiental Produção mais Limpa. Contribuindo de forma significativa para desenvolvimento das atividades de lavra do granito ornamental.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS/CETEM. 2002. **Catálogo de rochas ornamentais do Brasil**. Rio de Janeiro. CD-ROM. Windows 95.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9.653. **Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas**. São Paulo, 11 p., 2005

BARBIERI. C. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. São Paulo, Ed. Saraiva, 2004.

CEBDS – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. **Guia da Produção Mais Limpa: Faça você Mesmo**. Disponível em: <www.pmaisl.com.br>. Acesso em: janeiro/2004.

DALLORA NETO, C. **Análise das vibrações resultantes do desmonte de rocha em mineração de calcário e agilito posicionada junto á área urbana de Limeira (SP) e sua aplicação para minimização de impactos ambientais**. 2004. 82 f. Dissertação (Mestrado em Geociência e Ciências Exatas) – Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2004.

ESTON, S. M. **Uma análise de nível de vibração associados a detonações**. 1998. 125 f. Tese (Doutorado em livre docência) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

FERNANDES, J. V. G et al. **Introduzindo práticas de produção mais limpa em sistemas de gestão ambiental certificáveis: uma proposta prática**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 06, n. 03, jul/dez. Rio de Janeiro, 2001.

HENRIQUES, L. P.; QUELHAS, O. L. G. **Produção mais limpa: um exemplo para sustentabilidade nas organizações**. 2007. Disponível em: <http://www1.sp.senac.br/hotsites/sigas/docs/20071016_CAS_ProducaoMaisLimpa.pdf>. Acesso em 23 abril 2011.

HUSBAND, S. MANDAL P. **A conceptual model for quality integrated management in small and medium size enterprises**. The International Journal of Quality & Reliability Management, vol. 16, no 7, p. 699-713, 1999.

PIMENTA, Handson Cláudio Dias. **A produção mais limpa como ferramenta em busca da sustentabilidade empresarial: um estudo de múltiplos casos em empresas do estado do Rio Grande do Norte**. 174 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

RIBEIRO, J.T.M. **Curso básico sobre medição, prevenção e controle da poluição na mineração (poeira e ruído)**. São Paulo: DNPM/CECOPOMIN, 28 p., 1995.

RODRIGUES, G.L. **Efeitos ambientais na produção de brita em áreas urbanas (poluição atmosférica e vibração)**. São Paulo, 1993. 78 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

SÁNCHEZ. L. E. **Sistemas de gestão ambiental**. Apostila didática de aulas. Curso ministrado na Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. Pós-Graduação, ano letivo 2001.

SÁNCHEZ, L.E. **Os estudos de impacto ambiental como instrumentos de planejamento em pedreiras**. SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE MINERAÇÃO EM ÁREAS URBANAS, Anais..., São Paulo, DNPM/Pró-Minério. p.31-35. 1989.

SÁNCHEZ, L.E. Ruído y sobrepresion atmosférica. In: REPETTO, F.L. & KAREZ, C.S (Eds), **Aspectos geológicos de proteccion ambiental**. Montevideo: PNUMA/UNESCO e Instituto de Geociência/UNICAMP, V.1, p.189-196, 1995.

SEBRAE. **A Produção mais Limpa na Micro e Pequena Empresa**. Disponível em: <www.pmaisl.com.br>. Acesso em: abril/2011.

SILVA, V.C.; ANTONINI, A.; KOPPE, J.; FLOYD, J.; CERELLO, L.; CROSBY, W.; HOGAN, T. **Problemas gerados pelas detonações**. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 165 p., 2000. (Apostila).

VIDAL, F.W.H. 2002. **Avaliação de granitos ornamentais do nordeste através de suas características tecnológicas**. In: III Simpósio sobre Rochas Ornamentais do Nordeste, Anais, Recife, PE.

A IMPORTANCIA DA ÁGUA E SUAS DIVERSAS APLICAÇÕES NA MINERAÇÃO

Mauro F. Meyer¹, Paulo Henrique M. do Nascimento², Júlio C. de Pontes³,

¹ Mauro Froes Meyer - Professor do IFRN (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - Avenida Senador Salgado Filho, 1559, Tirol – Natal – RN – CEP: 59150-015 Fones: (084) 4005-9949 e (084) 9926-5330 E-mail: mf.meyer@hotmail.com; mauro.meyer@ifrn.edu.br;

² Paulo Henrique Morais do Nascimento - Aluno do Curso de Mineração do IFRN (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte). E-mail: paulin.show@hotmail.com;

³ Júlio Cesar de Pontes - Professor do IFRN (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. E-mail: julio.pontes@ifrn.edu.br

Resumo

A água consiste na substância simples mais abundante na Terra ou seja sobre ou sob a superfície terrestre, presente nos três estados físicos (líquido, sólido e gasoso), modelando a litosfera seja pelo transporte de partículas ou dissolução de materiais terrestres. A água é considerada uma substância sem gosto (insípida), sem cheiro (inodora) e sem cor (incolor). Na natureza é a única substância que, em circunstâncias normais, se apresenta nos três estados físicos: sólido, líquido e gasoso. A composição química da água apresenta dois (02) átomos de hidrogênio e um (01) átomo de oxigênio, formando a molécula (H₂O). Neste trabalho, será discutido todo o processo que envolve a utilização da água em diversas operações da mineração desde a geologia até o beneficiamento de minérios. Processos de reutilização de água em diversas operações da mina serão estudados aqui mostrando a importância do meio ambiente na mineração.

Palavras-chave: água, mineração e meio ambiente

Abstract

The water is the most abundant single substance on Earth that is on or under the earth's surface, present in all three physical states (liquid, solid and gaseous), modeling the lithosphere is the transport of particles or dissolution of earth materials. Water is considered a substance tasteless (insipid), odorless (odorless) and colorless (colorless). In nature is the only substance that, under normal circumstances, is presented in three physical states: solid, liquid and gas. The chemical composition of water has two (O₂) and hydrogen atoms (O₁) oxygen atom, forming a molecule (H₂O). This work is discussed throughout the process involving the use of water in several mining operations from geology to the beneficiation of ores. water reuse processes in various mine operations will be studied here show the importance of the environment in mining.

KEYWORDS: water, mining and environment.

INTRODUÇÃO

A água é considerada uma substância sem gosto (insípida), sem cheiro (inodora) e sem cor (incolor). Na natureza é a única substância que, em circunstâncias normais, se apresenta nos três estados físicos: sólido, líquido e gasoso. A composição química da água apresenta dois (O₂) átomos de hidrogênio e um (O₁) átomo de oxigênio, formando a molécula (H₂O). A superfície da Terra é recoberta por uma camada de água denominada hidrosfera. Cerca de 70% da superfície do planeta é coberto por água.



Figura. 1 – Disponível em: <http://tatinew.wordpress.com/2009/03/22/dia-mundial-da-agua/>. Acesso:

17.06.2011

A água por suas propriedades e por sua utilidade corresponde a uma das mais importantes substâncias que os seres vivos dispõem especialmente os humanos. Diante da importância desse líquido para os seres vivos, citamos algumas que são primordiais ao ciclo da vida.

- É responsável pelo equilíbrio térmico e climático do Planeta.
- Participa das funções metabólicas dos organismos
- Cerca de 80% das doenças e 33% das mortes no mundo, são decorrentes da crise de água potável.
- É utilizada em diversos fins industriais
- É usada para geração de energia elétrica
- É utilizada para irrigar plantações
- Entre outras atividades e utilização comuns aos seres vivos.

Mesmo pequena, essa parcela seria mais que suficiente para atender a demanda da população terrestre, se não fosse por um detalhe importante, um problema bem conhecido: a distribuição. A água do planeta não é distribuída de forma homogênea em todas as regiões. Somente 23 países detêm dois terços (2/3) das reservas de água potável do planeta.

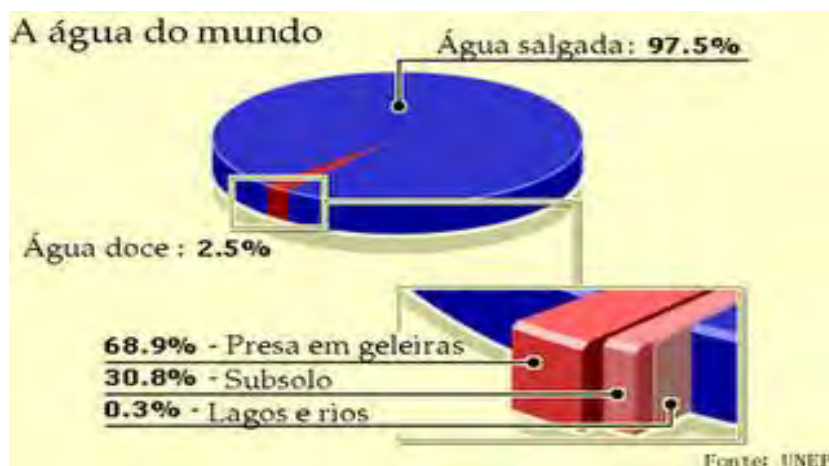


Figura. 2 – Disponível em: <http://geo-grafianarede.blogspot.com/2010/10/agua-no-planeta.html>. Acesso:

17.06.2011

O desperdício e o mal uso da água passa pela educação e conscientização da população, pessoas conscientes e bem informadas gerenciam melhor os recursos naturais em especial a água.

O gerenciamento das águas é necessário e urgente, evitar o desperdício, investir em políticas públicas de racionalização para o uso da água, resolver o problema do saneamento básico e investir em tecnologia de reaproveitamento das águas residuais, percoladas e outras.

A escassez de água potável em diversas regiões do planeta já é uma realidade, vários países da África e Ásia apresentam dramáticos exemplos de escassez. A escassez é uma realidade até mesmo em lugares que nunca tiveram problemas quanto ao suprimento do recurso.

2 - APLICAÇÕES DA ÁGUA NA MINERAÇÃO: AGUA NA GEOLOGIA:

A aplicação da água na geologia consiste nos processos do ciclo hidrológico, perfuração de poços artesianos para extração de água subterrânea.

Ciclo Hidrológico:

Inicia-se com a evaporação, que ocorre nos mares, rios e lagos. O vapor d'água, alcançando a atmosfera, é distribuído pelos ventos e se precipita quando atinge temperaturas mais baixas. Quando chove sobre a superfície da Terra, uma parte da água se evapora e retorna á atmosfera; outra se desloca sobre a superfície, constituindo as águas de escoamento superficial (rios e lagos). Parte da água das chuvas infiltra-se no solo, formando as águas subterrâneas. Além disso, uma pequena parcela é absorvida pelos animais e plantas, sendo utilizada no seu metabolismo.

Água Subterrânea :

Em geologia considera-se água subterrânea toda aquela água que ocupa todos os espaços vazios de uma formação geológica, os chamados aquíferos. Nem toda água que está embaixo da terra é considerada como água subterrânea por haver uma distinção daquela que ocupa o lençol freático, que é chamada de água de solo e tem maior interesse para a agronomia e botânica. Em sua utilização normal para uso residencial, as águas são captadas através de [canos](#).

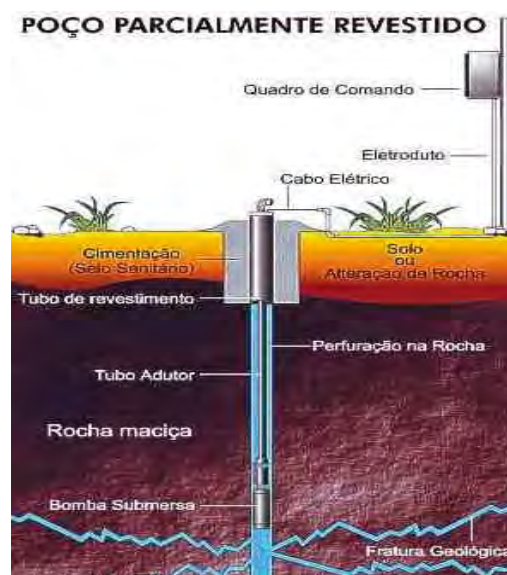


Figura 3 – Disponível em: <http://geo-grafianarede.blogspot.com/2010/10/pocoartesiano.html>. Acesso:

17.06.2011

Todo poço é chamado de poço artesiano é porque ele jorra água sozinho, isto acontece porque a zona de recarga do aquífero está acima do local onde se perfura o poço, então em qualquer escavação neste local o nível da água terá de passar o da superfície.

A maior reserva de água doce do mundo se encontra nas geleiras (quase 70 %) seguida pela existente no subsolo (quase 30%), representando esta última cerca de 90% do total de água doce disponível para consumo humano.

Uma das maiores reservas de águas subterrâneas do mundo é o famoso Aquífero Guarani, que ocupa o subsolo do nordeste da Argentina, centro-sudoeste do Brasil, noroeste do Uruguai e sudeste do Paraguai



Figura 4 – Disponível em: <http://geo-grafianarede.blogspot.com/2010/10/aquifero.guarani.html>. Acesso:

17.06.2011

AGUA NA LAVRA:

Relativamente ao modo de escavação as minas podem dividir-se em dois tipos principais: minas subterrâneas céu aberto. A escolha do método de lavra depende em grande parte da localização e forma do depósito mineral, devendo ser escolhido o método mais seguro e ao mesmo tempo mais econômico.

Na lavra se tem a aplicação da água em diversas operações como desmonte, carregamento e transporte, abatimento de poeiras nas vias de acesso, drenagem da mina e alguns métodos que trabalham diretamente com água como desmonte hidráulico e por dragas.

O desmonte do minério pode ser executado por meios mecânicos (por exemplo com escavadeiras hidráulicas) ou com recurso a explosivos (na grande parte dos casos). Uma perfuratriz sendo utilizada na perfuração da rocha, operações de lavra.



Figura. 05 – Disponível em: <http://geo-grafianarede.blogspot.com/2010/10drenagem.html>. Acesso:

17.06.2011

No desmonte hidráulico, a lavra é executada pela pressão da água que, além de promover a desagregação do material, o conduz para o local onde está processado. Das interferências mais significativas relacionadas com recursos hídricos, observadas no desenvolvimento das atividades de lavras, têm-se a construção de barragens, a construção de pilhas de disposição de materiais estéreis e o rebaixamento do nível de água subterrânea. O Desmonte hidráulico diminui o manuseio excessivo do material estéril e o rebaixamento do lençol freático de água facilita extração e transporte do minério.



Figura 06 – Disponível em: <http://geografianarede.blogspot.com/2010/1desmontehidraulico.html>. Acesso:

17.06.2011

Há casos e que a água é utilizada como meio de transporte, isto é, ela conduz o minério para a usina de tratamento. Esta forma de uso da água é comum à etapa do processamento mineral para movimentação de produtos acabados ou semi-acabados entre diferentes usinas de

tratamento e embarque. Outra forma de utilização de água em mina a céu aberto e o processo de caminhões pipa para molhar as vias de acesso com a finalidade de abatimento da poeira em suspensão.



Figura. 07 – Disponível em: <http://geo-grafianarede.blogspot.com/2010/10caminhaopipa.html>. Acesso: 17.06.2011

AGUA NO BENEFICIAMENTO DE MINERIO:

O Tratamento ou Beneficiamento de minérios consiste nas operações – aplicadas aos bens minerais – visando modificar a granulometria, a concentração relativa das espécies minerais presentes ou a forma, sem modificar a identidade química ou física dos minerais.



Figura. 08 – Disponível em: <http://geo-grafianarede.blogspot.com/2010/10fluxogramadoprocesso debeneficiamento.html>. Acesso: 17.06.2011

O beneficiamento se divide em diversos processos, a seguir citados: fragmentação, classificação, peneiramento, concentração e separação sólido líquido.

Fragmentação

Esta é um conjunto de operações que objetiva a fragmentação de blocos de minério vindo da mina, levando a granulometria compatíveis para utilização direta ou para posterior processamento. Esse processo desenvolve-se em alguns estágios e os equipamentos executores dessas etapas são chamados de britadores, bastante diversificados.

Classificação

Classificação é um método de separar misturas de minerais em dois ou mais produtos, baseado na velocidade em que as partículas caem através de um meio fluido. Em tecnologia mineral, este meio é geralmente, água. Os equipamentos de classificação mais comuns são:

Classificadores em espiral e Ciclones. O peneiramento um método de classificar uma população de partículas minerais em tamanhos diferentes, efetuado através de uma malha de aberturas fixas, onde esta população passará ou ficará retida na malha em questão.

Concentração

A concentração de minérios ocorre quando é preciso separar os minerais de interesse dos que não o são. Para que essa separação ocorra, é preciso que os minerais de interesse não estejam fisicamente agregados aos que não são de interesse, daí a importância das etapas de fragmentação e classificação, que realizam e monitoram essa separação, respectivamente. Os principais métodos de concentração são: separação/concentração gravítica ou gravimétrica, separação magnética e flotação. Os Equipamentos Gravíticos são: Calha Simples, Concentrador ou Cone Reichert, Mesa Plana, Jigue e Espiral de Humphreys.

Separador Magnético e Eletrostático:

A separação magnética é um método consagrado na área de processamento de minérios para concentração e/ou purificação de muitas substâncias minerais. Pode ser empregada, dependendo das diferentes respostas ao campo magnético associadas às espécies mineralógicas individualmente, no beneficiamento de minério e na remoção de sucata. O separador eletrostático tem a mesma aplicação do separador magnético porém ele trabalha com a geração de um campo elétrico.

Flotação: É uma técnica de separação de materiais que consiste basicamente na introdução de bolhas de ar em uma suspensão sólido-líquido (polpa), onde as bolhas irão aderir às partículas e transportá-las até a superfície.

Separação sólido-líquido (desaguamento):

Existem diversos processos na indústria mineral que requerem, em alguma etapa do beneficiamento, operação de separação sólido-líquido.

Espessamento

Espessamento ou sedimentação gravitacional é a técnica de desaguamento mais utilizada durante o processamento dos minerais que consiste na eliminação de água de uma polpa formada de partículas de granulometria fina.

Filtragem

É definida como a operação de separação de sólidos contidos numa polpa onde a fase líquida denominado filtrado, é forçado a passar através de um meio poroso, também chamado meio filtrante, enquanto que a fase sólida chamada torta da filtração, forma uma camada sobre a superfície do meio poroso.

Barragem de Rejeito:

Os sistemas de retenção de rejeitos industriais quaisquer, tornam-se mais importantes, a medida que aumenta o consumo de produtos industrializados e o desenvolvimento de tecnologias de aproveitamento de bens primários. Rejeitos de mineração são considerados produtos não úteis no presente momento, de uma indústria mineral. constituem basicamente de uma rocha ou material moído, após a separação da substância útil ter sido feita. São normalmente transportados para a área de deposição, hidraulicamente, numa concentração de aproximadamente 40% de sólidos em peso.



Figura 09 – Esquema de uma barragem de rejeito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Livro CETEM – Recursos Hídricos e tratamento de água na mineração.

ABNT.1993. Norma NBR 13.028. Elaboração e Apresentação de Projeto de Disposição de Rejeitos de Beneficiamento, em Barramento, em Mineração.

CBGB - Núcleo Regional de São Paulo.1999. Guia Básico de Segurança de Barragens. Comissão Regional de Segurança de Barragens, SP. 77 p.

<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2004-179-00.pdf>

<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2004-184-00.pdf>

<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2004-186-00.pdf>

[http://www.pormin.gov.br/biblioteca/arquivo/beneficiamento de minerio.pdf](http://www.pormin.gov.br/biblioteca/arquivo/beneficiamento_de_minerio.pdf)

EFEITO DO MEIO NA LIBERAÇÃO DE POTÁSSIO EM ROCHAS ORNAMENTAIS: UM ESTUDO POR MODELAGEM MOLECULAR

Pedro F. B. Pires¹, Julio C.G. Correia¹, Alexandre N.M. Carauta^{1, 2}

¹ Coord. de Apoio Técnico às Micro e Pequenas Empresas - CATE/ Centro de Tecnologia Mineral
CETEM/MCTI - Av. Pedro Calmon, 900, Cid. Universitária, 21941-908 Rio de Janeiro - RJ (Brasil)

ppires@cetem.gov.br; jguedes@cetem.gov.br; www.cetem.gov.br

² Departamento de Físico-Química, Fundação Souza Marques. Av. Ernani Cardoso, 335 – Cascadura - RJ,
21310-310 – Rio de Janeiro - RJ ancarauta@gmail.com.

RESUMO

Os solos brasileiros são, em geral, ácidos e pobres em macronutrientes como potássio. Dessa forma, como o potássio é um recurso não renovável, é preciso estudar formas mais eficientes de uso e fontes alternativas de extrair o minério da natureza, de modo a utilizá-lo como fertilizante. Este trabalho tem como objetivo estudar o efeito do meio na liberação do potássio presente no mineral microclina. A utilização de métodos computacionais para a simulação de reações químicas permite a redução do tempo na experimentação do processo. Na tentativa de simular a retirada do minério da natureza, é proposto um modelo envolvendo o solvente água que possa interagir com a molécula do mineral microclina, um mineral rico em potássio, utilizando o programa de modelagem molecular Gaussian. A avaliação da solvatação do potássio é medida a partir da diferença de energia na interação do íon K^+ com os solventes.

PALAVRAS-CHAVE: rochas ornamentais, fertilizantes, potássio, modelagem molecular.

ABSTRACT

Brazilian soils are, in general, acid and poor in macronutrients as potassium. Thus, since potassium is a nonrenewable resource, it is extremely important to study more efficient ways to use alternative sources and to extract the mineral from nature in order to use it as a fertilizer. This work aims to study the effect of the environment on the liberation of the potassium from microcline. The use of computational methods for the simulation of chemical reactions allows the

reduction of process time during the experimental phase. In attempt to simulate the removal of the mineral from nature, is proposed a model involving the solvent water, which one can interact with the molecule of the microcline mineral, potassium-rich mineral, using the Gaussian molecular modeling program. The evaluation of potassium solvation is measured from the energy difference in the interaction of the K^+ ion with solvents.

Keywords: ornamental stones, fertilizers, potassium, molecular modeling.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura moderna brasileira está baseada na tecnologia, principalmente no que se refere aos fertilizantes. No entanto, quando se analisa a relação brasileira de importações, fica evidente a dependência do país de fontes de matérias primas para a fabricação de insumos agrícolas, particularmente de potássio. Um agravante desse problema é a composição dos solos brasileiros que, em geral, são ácidos e apresentam carência de potássio. Dessa forma, como o potássio é um recurso não renovável, formas alternativas de captação e utilização de potássio seguem sendo estudadas. A microclina ($K_2Al_6Si_2O_{16}$) é um importante constituinte de rochas ígneas.

Também conhecido como “feldspato alcalino”, é muito comum no granito. Resíduos dessas rochas produzidos pela construção civil, por exemplo, são jogados na natureza e a problemática ambiental associada a essa prática tem despertado grande interesse no Brasil nos últimos anos. Diversos trabalhos têm demonstrado o potencial da utilização de resíduos de rochas ornamentais, e esses rejeitos são atrativos para o aproveitamento, pois, dentre as substâncias que os compõem, há grande teor potássico. A fim de estudar uma maneira de como ocorre a liberação do potássio para o meio, utilizou-se técnicas de modelagem molecular através de simulações com solvente. Este trabalho, portanto, teve como objetivo estudar o efeito do meio na liberação do potássio, que se encontra presente no mineral microclina através de técnicas de modelagem molecular. Primeiramente, a estrutura do mineral foi obtida no banco de dados cristalográficos do software *Materials Studio* e transferida para a matriz de entrada de dados do programa *Gaussian03W*. Posteriormente, a energia da estrutura do mineral foi calculada utilizando o método da Teoria Funcional de Densidade (Density Functional Theory – DFT) com funcional híbrido B3LYP e base 6-31G (d,p). Para a representação da estrutura da microclina no *Gaussian03W* e o cálculo de

energia, gerou se um *input*, o qual indicava o tipo de cálculo desejado e as especificações da estrutura do mineral.

Finalmente, o efeito do solvente foi avaliado utilizando o método PCM (Polarizable Continuum Model), no qual a constante dielétrica da água foi utilizada para a solvatação do sistema. Os cálculos realizados utilizando o método DFT em conjunto com o PCM permitiram a observação de que a estrutura do mineral é estabilizada quando solvatada, bem como que há variação de cargas nos átomos de potássio, indicando que os mesmos ficaram mais reativos. Dessa forma, observa-se que o conhecimento do mecanismo de liberação do potássio por modelagem molecular pode mostrar, no futuro, que tipo de solvente é o mais adequado para esse processo, além de qual mineral apresentaria a maior eficiência, aliando teor potássio e a facilidade na liberação para o meio.

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.

2. OBJETIVO

Este trabalho teve como objetivo utilizar algumas ferramentas propiciadas pela modelagem molecular com o intuito de estudar o efeito do meio na liberação do potássio presente no mineral microclina ($K_2Al_6Si_2O_{16}$) que vem a ser um importante constituinte de rochas ígneas. Também conhecido como “feldspato alcalino”, é muito comum no granito, um dos minerais componentes das rochas ornamentais.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A estrutura do mineral microclina (figura 1) foi obtida no banco de dados cristalográficos do software *Materials Studio* e a molécula do mineral foi transferida para a matriz de entrada de dados do programa Gaussian03W.

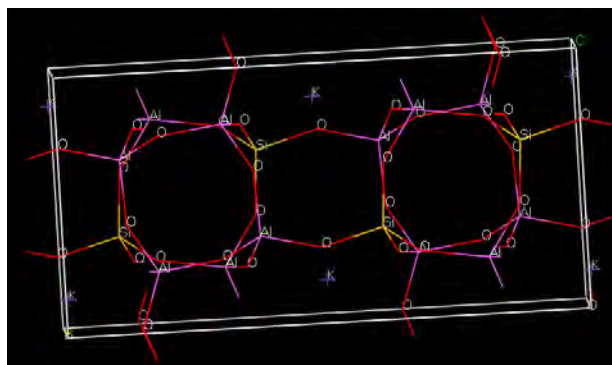


Figura 1: Estrutura do mineral microclina do banco de dados do Programa *Materials Studio*.

A energia da molécula do mineral foi calculada utilizando o método da Teoria Funcional de Densidade (Density Functional Theory – DFT) com funcional híbrido B3LYP e base 6-31G (d,p). Para a representação da estrutura da microclina no Gaussian e o cálculo de energia, foi gerado um *input*, o qual indicava o tipo de cálculo desejado e as especificações da molécula do mineral.

O efeito do solvente foi avaliado utilizando o método PCM (Polarizable Continuum Model), na qual a constante dielétrica da água foi utilizada para a solvatação do sistema.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados parciais indicam que a energia da molécula do mineral microclina pura é $HF = -4436,9672$ hartree e a energia da mesma solvatada é $HF = -4437,2057$ hartree. Esses dados indicam uma estabilização do sistema em $-208,08$ kcal/mol. As cargas parciais de cada átomo de potássio na molécula não solvatada são $+0,72$ e foi observado um aumento de carga nos átomos de potássio, indicando que eles ficaram mais reativos.

A Tabela 1 apresenta a variação de cargas parciais dos átomos de potássio no mineral microclina após o cálculo PCM.

Tabela 1: Variação de carga parcial nos átomos de potássio.

Átomo	Carga da cavidade	Carga no sistema não solvatado	Carga do sistema solvatado
K1	-0,489	+0,72	+0,82
K14	-0,477	+0,72	+0,78

No cálculo PCM, o meio com constante dielétrica, o solvente, é moldado em volta da molécula estudada e, por isso, forma cavidades com carga em torno de cada átomo. A cavidade em torno de um átomo de potássio (K1) é -0,489 e a do outro (K14) é -0,477. Assim, as cargas dos potássios na microclina foram modificadas, K1 adquiriu carga +0,82 e K14 passou para +0,78, demonstrando que a presença do solvente altera a distribuição de carga no soluto, o que é um indício do efeito do solvente sobre os íons potássio presentes no mineral microclina.

Percebe-se também que a cavidade com maior carga promove a maior alteração na carga parcial do potássio. É importante conceituar que o número de cada átomo da microclina (K1 e K14, por exemplo) é referente à suas posições na matriz de entrada de dados no programa Gaussian 03W.

Algumas tentativas de estudar o efeito de solvatação foram realizadas utilizando métodos de mecânica e dinâmica molecular através do campo de força *Dreiding* no programa *Materials Studio*. As Figuras 2a e 2b representam as vistas superior e lateral da cela unitária do cristal de microclina obtida no banco de dados do programa *Materials Studio*, respectivamente.

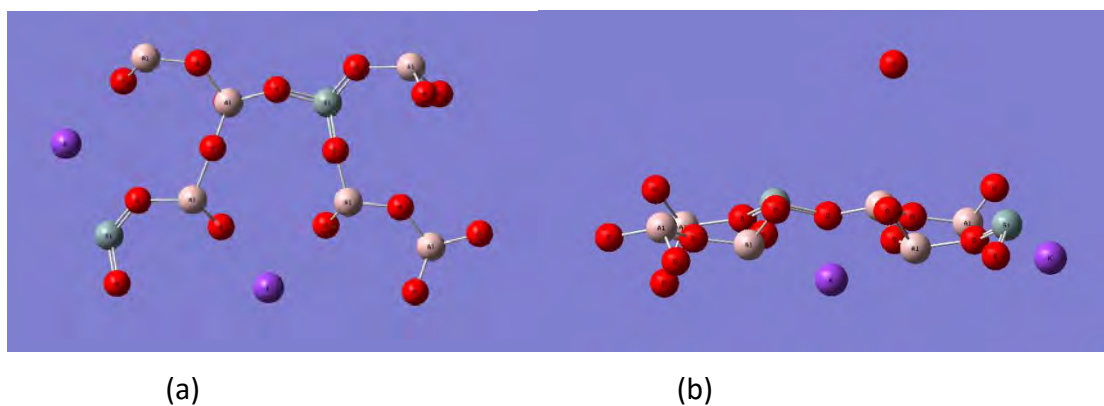


Figura 2: (a) Vista superior da cela unitária do cristal de microclina e (b) vista inferior da cela unitária de microclina obtidas no banco de dados do programa *Materials Studio*.

Os resultados obtidos por esses métodos, no entanto, não foram satisfatórios. Não foi possível verificar o efeito do solvente na retirada do potássio do mineral microclina. Visando a simulação a partir de um método mais adequado, foi transferido um modelo do mineral para a matriz de entrada de dados do programa *Gaussian 03W* e foi construído o modelo contínuo polarizável (PCM) que simula o efeito de solvente em sistemas de interesse. Esse método trata o efeito a partir de um modelo de solvatação em que a constante dielétrica do solvente é utilizada (Figura 3). A distribuição de cargas do soluto polariza o solvente gerando um potencial de reação que modifica a estrutura do soluto.

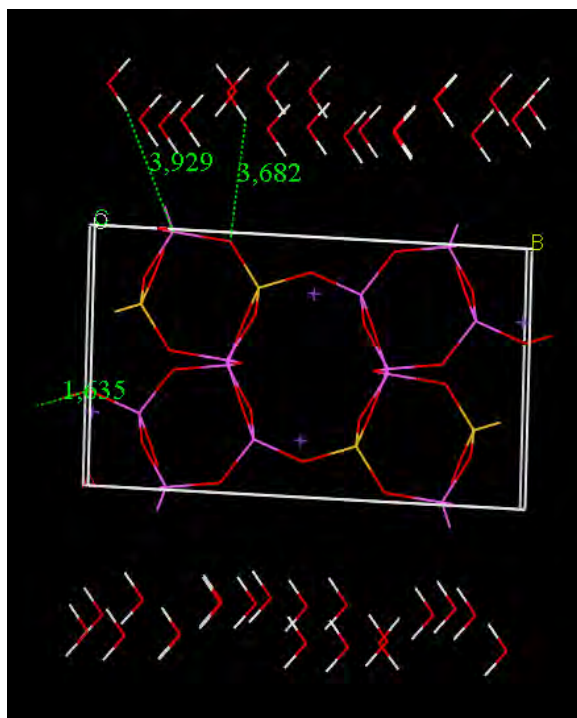


Figura 3: Modelo do sistema microclina- solvente água

5. CONCLUSÕES

Cálculos de DFT com modelo de efeito de solvente estão em andamento, onde se espera observar com maior detalhamento a interação do solvente (água) com o mineral microclina e estudar esses efeitos na possível liberação do potássio. Ressalta-se que serão realizadas novas simulações e experimentos para melhor avaliação e conclusão.

Foi observado pelas simulações realizadas, até o momento, que os cálculos por mecânica e dinâmica molecular não foram adequados para descrever o efeito de solvente no estudo do modelo proposto.

6. AGRADECIMENTOS

A Dra. Elaine Maia, do Departamento de Química da UnB pela cessão do programa *Materials Studio*. A Dra. Fernanda Barbosa, do CETEM pela colaboração na realização do trabalho.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, J.V.; CARRISSO, R.C.C. ; NASCIMENTO, M. **Produção de fertilizantes potássicos a partir de rejeitos de corte de granito**. XXI – Jornada de Iniciação Científica-CETEM, 2013.

BARRAL SILVA, M.T.; HERMO, S.B.; GARCÍA-RODEJA, E.;VÁZQUEZ FREIRE, N. **Reutilization of granite powder as an amendment and fertilizer for acid soils**. Chemosphere. 2005, Nov. p. 993-1002. Epub 2005 Apr 25, 2005.

CAZOTTI, M.M.; RIBEIRO, R.C. da C. **Efeito da compostagem na liberação de potássio presente em resíduos do corte de granitos**. XX – Jornada de Iniciação Científica-CETEM, 2012.

LIMA, R.M.R. **Cinética de dissolução do K⁺ da rocha flogopitito em função do tamanho da partícula**. In: XXII Jornada de Iniciação Científica, CETEM, Rio de Janeiro, 2014.

MARTINS, E.S; OLIVEIRA, C.G.; RESENDE, A.V.; MATOS, M.S. **Agrominerais: Rochas Silicáticas como Fontes Minerais Alternativas de Potássio para a Agricultura**. Rochas e Minerais Industriais. 2 ed. Rio de Janeiro, Brasil : Centro de Tecnologia Mineral, p. 205 – 219, 2008.

NASCIMENTO, M. **Desenvolvimento de método para extração de potássio a partir de feldspato potássico**, Tese de doutorado, COPPE-UFRJ, 2004.

NASCIMENTO, M.; MONTE, M.; LOUREIRO, F. Agrominerais - Potássio. In: LUZ, A.B. et al. (Eds). Rochas & Minerais Industriais. 2 ed. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Centro de Tecnologia Mineral, 2002, p.175-205.

NASCIMENTO, M. ; LOUREIRO, F. E. L. **Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas**. Rio de Janeiro, Brasil : Centro de Tecnologia Mineral, p. 66 (Série Estudos e Documentos,61), 2004.

NASCIMENTO, M., LOUREIRO, F.E.V.L., 2009. **O potássio na agricultura brasileira: fontes e rotas alternativas**, In: Loureiro, F.E.V.L., Melamed, R., Figueredo Neto, J., Fertilizantes-Agroindústria e Sustentabilidade, CETEM, Rio de Janeiro, pp.305-335, 2009.

NOCOLINI, K.P., **Produção de fertilizantes de liberação lenta a partir da torta de mamona (*Ricinus comunis*) e de uréia intercalada em caulins**. Tese de doutorado, UFPR, 2009.

VAN STRAATEN, P. **Agrogeology: The use of rock for crops**, Enviroquest Ltd. Toronto, Canada.440 p., 2007.

COMPARAÇÃO DA CARACTERIZAÇÃO DE DIFERENTES MICAS NO USO COMO FERTILIZANTES NATURAIS

Rayane de Lima Cirilo¹, José Avelino Freire²

¹ Graduanda em Engenharia de Minas na Universidade Federal de Campina Grande, UFCG

² Engenheiro Químico, professor na Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, UFCG

rayanne_cirillo@hotmail.com

RESUMO

O emprego de fertilizantes vem crescendo a cada ano mundialmente, e no Brasil isto não é diferente. Existe uma preocupação quanto à origem desses materiais, uma vez que alguns desses compostos químicos, quando sintéticos, podem agredir o solo. É com esta preocupação que cada vez mais procuram-se fertilizantes naturais. O objetivo deste trabalho é analisar os minerais micáceos para este fim. Sabe-se que a vermiculita é um mineral já utilizado neste ramo a partir da sua capacidade de troca catiônica, apresentando na sua estrutura os íons Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}) e Potássio (K^{1+}), estes elementos uma vez disponíveis no solo contribuem para o desenvolvimento das plantas. Porém seus benefícios devem ser muito mais explorados, uma vez que além destes, esta mica também libera gradativamente umidade para o solo a partir de sua característica de exfoliação, assim evita-se uma lixiviação natural dos minerais presentes durante a irrigação. Como esse hábito está presente nas mais variadas micas, a caracterização foi feita além da vermiculita, na moscovita e biotita para o uso de fertilizantes naturais, levando em consideração o grau de liberação dos minerais de interesse. Com este intuito, foram realizadas análises de caracterização desses minerais, tais como a análise de inchamento em água e também a determinação da capacidade de troca iônica no Laboratório de Análises Mineraias da Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). A partir destas pôde-se fazer a comparação entre essas diferentes micas e seus comportamentos quanto às análises realizadas, comprovando a capacidade de fertilização a partir do uso da vermiculita, porém isto não se repete nos minerais muscovita e biotita.

PALAVRAS-CHAVE: micas, caracterização, fertilizantes.

ABSTRACT

The use of fertilizers is growing every year worldwide and in Brazil it is no different. There is a concern regarding the origin of these materials since some of these chemicals when synthesized can harm the soil. It is with this concern that increasingly looking to natural fertilizers. The objective of this study is to analyze the mica minerals for this purpose. It is known that the vermiculite is a mineral already used in this area of study due to its cation exchange capacity, presenting in its structure calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}) and potassium (K^{1+}) ions, which when available on soil can contribute to the development of the plants. But its benefits should be more exploited, since besides, this mica also gradually releases moisture to the soil from its characteristic exfoliation, so it avoids a natural leaching of these minerals during the irrigation. As this characteristic is present in a variety of mica, the characterization was done beyond the vermiculite in muscovite and biotite to the use of natural fertilizers, taking into account the liberation degree of the minerals of interest. To reach this goal, analyzes were performed to characterize these minerals, such as swelling tests, in water and also the determination of ion exchange capacity at the Mineral Analysis Laboratory of the Academic Unit of Mining and Geology from the University of Campina Grande (UFCG). From these it was possible to make a comparison between these different economic and their behavior with regard to the analysis, proving the ability of fertilization from the use of vermiculite, but this is not repeated in the minerals muscovite and biotite.

KEYWORDS: micas, mineral characterization, fertilizers.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação

A crosta terrestre é constituída majoritariamente de minerais da classe dos silicatos. Os silicatos tratam-se dos materiais cerâmicos de grande importância e são os maiores contribuintes para o modo que vivemos. Por possuir uma grande diversidade de minerais a classe dos silicatos é dividida em grandes grupos, são eles: grupo das granadas, grupo do epidoto, família dos piroxênios, família dos anfibólios, minerais argilosos, grupo das micas, grupo da clorita, grupo da sílica, grupo dos feldspatos, grupo dos feldspatóides, grupo da escapolita e família das zeólitas (DANA-HURLBUT,

1971). Dentre todos estes, os estudos feitos no presente trabalho envolve o grupo das micas, no qual também segundo Dana-Hurlbut, tem sua cristalização no sistema monoclinico, porém com uma inclinação do chamado eixo a de quase 90° , de modo que sua simetria monoclinica é de difícil percepção. As micas caracterizam-se por uma clivagem {001} altamente perfeita. Existe uma substituição iônica limitada entre os diferentes membros. Todavia, é frequente que dois membros do grupo cristalizem juntos em posição paralela na mesma placa do cristal, com a clivagem estendendo-se através de ambos. Dentre o grupo das micas encontramos a muscovita, biotita e uma variação da mesma a vermiculita.

1.1.1. Muscovita

Trata-se de uma mica muito comum, é chamada de mica potássica e é encontrada na cor branca. Sua composição é essencialmente $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$. Frequentemente, contém pequenas quantidades de ferro ferroso e férrico, magnésio, cálcio, sódio, lítio, flúor e titânio. A muscovita é um mineral formador de rocha espalhado e muito comum. Nos pegmatitos graníticos, ocorre associada com o quartzo e feldspato, com a turmalina, o berilo, a granada, a apatita e a fluorita (DANA-HURLBUT, 1971). Atualmente este tipo de mica é empregado principalmente como material de isolamento na fabricação de aparelhos elétricos, também é usada para isolamento elétrico, e para o uso de material transparente em portas de fornos, lanternas etc. No entanto o uso desse mineral ainda é bastante restrito, assim buscou-se outras utilizações para o mesmo como no uso de fertilizante.

1.1.2. Biotita

Assim como a muscovita, a biotita é uma mica bastante comum é caracterizada por sua clivagem micácea e cor escura. Trata-se de um silicato de potássio, magnésio-ferro-alumínio, hidratado, essencialmente $K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$. A biotita é um mineral formador de rocha importante e amplamente distribuído. Tem frequente ocorrência em rochas ígneas principalmente nas quais o feldspato é predominante, ocorre em maior variedade de rochas do que a muscovita. A biotita alterada forma a vermiculita, que possui estrutura com folhas de micas interestratificadas com moléculas de água. Quando aquecida, perde água e expande-se. Geralmente seu uso se dá para o isolamento do calor e do som (DANA-HURLBUT, 1971).

1.1.3. Vermiculita

A vermiculita é um filossilicato que pode resultar da alteração de uma mica pela troca iônica nas esmectitas trioctaédrica. A sua fórmula estrutural pode ser aproximadamente $(Al, Si)_4(Mg, Fe, Al)_3O_{10}(OH)_2(Ca, K)_{0,3-0,45}$, sendo Mg^{2+} ou Ca^{2+} os cátions interlamelares trocáveis. Estruturalmente a vermiculita é composta por uma camada octaédrica de alumínio entre duas camadas de silicato podendo ter substituição por ferro na folha octaédrica. Essas substituições provocam o desequilíbrio de cargas provocando camadas com alta densidade de carga e grande capacidade de troca iônica. Deste modo a elevada carga estrutural resulta em uma alta energia de adsorção de cátions hidratados entre as lamelas, mantendo juntas as suas unidades.

A vermiculita como já foi citado, possui como característica marcante sua capacidade de expansão, quando submetida a temperaturas elevadas, toda a água de hidratação intralamelar sofre uma rápida expansão no plano perpendicular do eixo basal, desta forma a vermiculita aumenta seu volume em mais de 30 vezes do volume inicial. Deste modo, a vermiculita passa da forma lamelar para uma estrutura em flocos que aparentam vermes, daí seu nome, recebendo a denominação de vermiculita expandida. (SANTOS e MACINI, 2007; UGARTE e MONTE, 2005).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral a comparação de resultados da capacidade de troca catiônica e também do ensaio de inchamento obtidos para a aplicação da muscovita, biotita e vermiculita no solo atuando como fertilizante, contribuindo para o desenvolvimento das plantas.

2.2. Objetivo Específico

- Estudar a influência dos tratamentos químicos adotados nas propriedades físicas e químicas da muscovita, biotita e vermiculita (inchamento em água, capacidade de troca catiônica e distribuição granulométrica das partículas);
- Realizar comparativos entre os tratamentos estudados objetivando identificar o tratamento que gere condições adequadas para incorporação ao solo.

3. CARGAS SUPERFICIAIS DOS MINERAIS

No decorrer da formação dos minerais ocorre as substituições nas estruturas de um ou mais íons por outros. Como esses íons são trocados uns pelos outros, não há alteração no cristal, conservando a mesma estrutura. Estas mudanças são denominadas substituições isomórficas, elas ocorrem com muita frequência na formação dos silicatos, e geralmente outros cátions, com raios iônicos semelhantes ao do silício e ao do alumínio, podem substituí-los nas lâminas tetraedrais e octaedrais. As cargas negativas que se originam nos silicatos pela substituição isomórfica, durante a sua formação, são cargas permanentes, não sendo afetadas por mudanças do pH do solo, pois se originam na estrutura do mineral. A existência de cargas negativas nos argilominerais do solo é, provavelmente, uma de suas propriedades mais importantes, pois, graças a ela, o solo pode reter (adsorver) e trocar cátions com a solução do solo, como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{1+} , NH_4^{4+} entre outros, que são indispensáveis à nutrição das plantas. Essa propriedade é denominada capacidade de troca de cátions do solo (CTC). Outros minerais do solo, principalmente óxidos de alumínio e ferro têm a propriedade de apresentar cargas positivas e negativas, conforme o pH do solo (cargas dependentes de pH) (KOKOVICH, RIBEIRO, MELO; 2008).

4. METODOLOGIA

Foram coletadas amostras de muscovita e biotita no município de Pedra Lavrada e amostras de vermiculita em Santa Luzia, ambos no Estado da Paraíba. Feita a coleta foram executadas etapas para o preparo das amostras que serão descritas nas sessões a seguir:

4.1. Preparação das Amostras

4.1.1. Homogeneização e Quarteamento

As amostras dos três tipos de micas foram homogeneizadas separadamente, com a finalidade de garantir a representatividade de cada amostra, e dispostas em pilhas para quarteamento manual.

4.1.2. Limpeza das Amostras

Após o quarteamento, foi feito um processo de lavagem para a retirada de material orgânico. A primeira etapa para a limpeza, é realizada com adição de água destilada, posteriormente a

lavagem continua com ácido clorídrico a 10%. Este processo se repetiu mais três vezes para garantir sua eficiência. Concluída a limpeza, o material ficou na estufa para a secagem.

4.1.3. Cominuição

As amostras de biotita e muscovita foram cominuidas, a princípio com o auxílio de um moinho, pois estavam com aproximadamente 10cm de comprimento e 5cm de largura, com granulometria bem superior às amostras de vermiculita. Em seguida as três amostras de mica, foram submetidas ao processo de pulverização a partir do uso de um almofariz (Figura 1), para chegar a uma granulometria de aproximadamente 149 μ m e cerca de 30 gramas de cada amostra final.



Figura 1 – Processo de pulverização da vermiculita com auxílio de um almofariz.

4.2. Ensaio de inchamento

O ensaio de inchamento consiste em adicionar água a amostra, e depois verificar o quanto seu volume foi alterado após o acréscimo de água e o quanto o material tem a capacidade de absorver e liberar essa água após submetida a altas temperaturas.

4.2.1. Pesagem das amostras

Cada amostra de mica estudada foi dividida em oito alíquotas de 2g, totalizando 24 amostras. As amostras foram pesadas em uma balança de precisão no Laboratório de Análises Mineraias (LAM) – UFCG, para obter a comparação da massa de material antes e após o contato com a água. Para cada amostra de mica, foram pesados aproximadamente 2,000g. As 8 amostras de cada mineral foram distribuídas de forma que recebessem respectivamente 0,5; 1; 2; 4; 5; 7; 9 e 12% de água

destilada. Este procedimento foi realizado com o auxílio de cadinhos, pipetas e bastões de vidro (para a mistura da amostra com a água destilada). Após a homogeneização da mica e a água, as amostras foram novamente pesadas. (Figura 2).



Figura 2 – Pesagem das amostras.

4.2.2. Secagem

Após o procedimento de pesagem, as amostras são colocadas em uma estufa a uma temperatura de 105°C durante um período de 24h (Figura 3). Este procedimento permite a comparação da absorção e liberação da água dos materiais, através da diferença do peso da moscovita, biotita e vermiculita natural, em contato com água e após submetidas a secagem.



Figura 3 – Amostras submetidas a temperatura de 105°C em estufa.

Ao serem retiradas, foram transferidas para o dessecador até alcançarem a temperatura ambiente, dada sequência, foram novamente pesadas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Análise de grau de inchamento

Os resultados obtidos através dessas pesagens, demonstraram que a moscovita possui um alto grau de liberação de água comparada a biotita e vermiculita. Estas duas, assim como pode-se perceber pelo gráfico apresentado na Figura 4, possuem um grau de liberação semelhantes, porém a vermiculita se sobressai em todos os pontos. A liberação de água permite que o solo seja mantido úmido por mais tempo com o uso de minerais que liberem água gradativamente, auxiliando no crescimento de plantas.

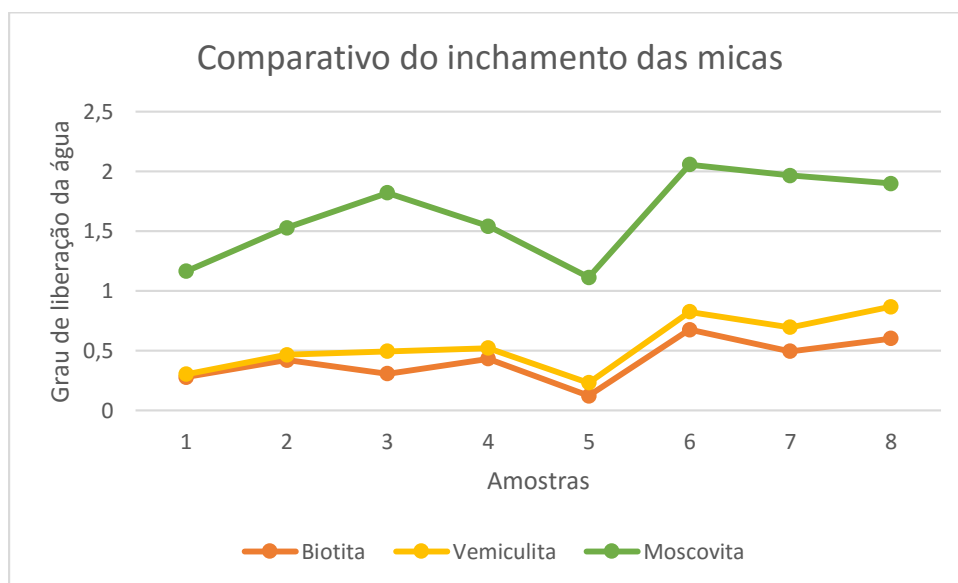


Figura 4 – Comparação do grau de liberação da biotita, vermiculita e moscovita.

5.2. Capacidade de Troca Catiônica (CTC)

$$V(\%) = 100 * SB \div CTC \quad (1)$$

Sendo:

V = Saturação por bases;

SB = Soma de bases trocáveis

Com base na equação 1 acima, obteve-se os seguintes resultados (Tabela 1):

Tabela 1: CTC das micas no solo.

MICA	VALOR DE V(%)
Vermiculita	75
Biotita	35
Muscovita	35

A saturação por bases é um excelente indicativo das condições gerais de fertilidade do solo, sendo utilizada até como complemento da nomenclatura dos solos. Os solos podem ser divididos de acordo com a saturação por bases: solos férteis = $V\% \geq 50\%$ e solos pouco férteis = $V\% \leq 50\%$. (RONQUIM, 2010)

6. CONCLUSÕES

A vermiculita foi a única mica a qual possuiu capacidade de trocar cátions com o solo de forma suficiente para torna-lo mais fértil, já que obteve um $V=75\%$. A muscovita e a biotita apresentam $V=35\%$, esse valor demonstra que essas micas não fazem uma troca iônica suficiente que possa influenciar na fertilidade do solo. No entanto, na análise de inchamento de água, percebeu-se que a muscovita possui grande capacidade para a liberação gradativa de água quando submetida a altas temperaturas, o que pode contribuir para uma melhor umidificação do solo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DANA, J. D. **Manual de mineralogia**, v2. Livros técnicos e científicos editora S.A, Rio de Janeiro – Brasil, 1976.

KOKOVICH, P. F.; RIBEIRO, J. P. J. A.; MELO, S. P. **Origem das cargas nos solos**, Trabalho acadêmico, do curso de Engenharia Florestal na Universidade do Estado de Mato Grosso-UNEMAT, Campus Universitário de Alta floresta, 2008.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**, Embrapa Monitoramento por Satélite Campinas, São Paulo, 2010.

SANTOS, A. L. V. e MASINI, J. C. **Evaluating the removal of Cd(II), Pb(II) and Cu(II) from a wastewater sample of a coating industry by adsorption onto vermiculite.** Applied Clay Science, 37, p. 167-174, 2007.

UGARTE, J. F. O. e MONTE, M. B. M. **Adsorção e Dessorção de Óleo em Vermiculita.** In: XXI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa - ENTMME, Natal - RN. Anais do evento, 2005.

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS ESPESSARTITAS DE DIFERENTES TONALIDADES DE LARANJA DE CARNAÚBA DOS DANTAS – RN, PROVÍNCIA PEGMATÍTICA DA BORBOREMA

Sonally Luci T. A. Sousa¹, Fabrício F. Vieira², Elissandra N. Moura³

¹ Graduanda, Unidade Acadêmica de Minas e Geologia (UAMG)/Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

² Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Exploração Petrolífera e Mineral (PPEPM)/UFCG

³ Geóloga e Professora, UAMG/PPEPM/UFCG

sonallysousa@gmail.com

RESUMO

A Província Pegmatítica da Borborema, localizada nos Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, concentra um dos maiores acervos geológicos do Nordeste, o que corresponde geologicamente à parte oriental da Faixa de Dobramentos Seridó. Os Pegmatitos possuem composição basicamente granítica Quartzo, Feldspato e Mica. Os recursos minerais são principalmente de interesse industrial e incluem Espodumênio e Amblygonita (Li), Feldspatos (Na, K), minerais do grupo Tantalita (TA), Columbita e Pirocloros (Nb), Scheelita (W) e Caulim. Faz importante parte das riquezas minerais a diversidade de gemas, também chamadas (pedras preciosas) que se destacam por sua beleza, cor, brilho, e raridade. Têm como importantes exemplos as Turmalinas Elbaítas, Berilo, Ametista, Topázio, Esmeralda, Euclásio, Lazulita, Cordierita, Coríndon e as Granadas, sendo esta última objeto do nosso estudo.

Faz parte de um grupo importante de minerais acessórios, as Granadas podem ocorrer em uma variedade de diferentes ocorrências: ígneas, metamórficas. Alto Mirador Pegmatito, o ex-"Lavra da Pedra Bonita", está localizado no distrito do Ermo, município de Carnaúba dos Dantas, Rio Grande do Norte, próximo a Frei Martinho/ Estado da Paraíba e hospeda Granadas Espessartinas, apresentando cor laranja com uma variedade de tons diferentes. Tais minerais estão entre as mais belas gemas já encontradas, devido ao seu grau de pureza e cristalinidade. O presente estudo visa contribuir para caracterização detalhada destas granadas específicas e se concentrar sobre a causa de sua cor. Através de análises em campo e laboratório, verificou-se que as Espessartitas estão associadas a K-feldspato, Albita, Quartzo, Schorlita e Elbaíta, em parte, mostram-se bastante fraturadas. Foram realizadas análises químicas através da Fluorescência de Raio-X de 8 diferentes amostras de Espessartitas.

A fluorescência de raio-x demonstrou que a quantidade de Mn é marcante em todas as variedades das amostras, no entanto, nas de tonalidade mais clara, a quantidade é maior, enquanto que, nas Espessartitas alaranjadas mais escuras, a quantidade de Mn diminui. Em contrapartida, o Fe_2O_3 aparece em quantidades ínfimas, porém importantes. As Espessartitas alaranjadas de tonalidade clara tem metade da proporção de Ferro das amostras de tonalidade escura.

PALAVRAS-CHAVE: Granada laranja, Fluorescência de raio-X, Província Pegmatítica do Seridó.

ABSTRACT

The Borborema Pegmatite Province, stretch over Paraíba and Rio Grande do Norte States/Brazil. This province makes part of the Eastern Fold Belt of Seridó Supergroup and is known for its rich mineral resources. The Pegmatites are of granitic composition and are basically composed of Quartz, Feldspars and Micas. The mineral resources are mainly of industrial interest and include Spodumene and Amlbygonite (Li), Feldspars (Na, K), Tantalite group minerals (Ta), Columbite and Pyrochlores (Nb), Scheelite (W) and Kaolin. Gemstones (precious stones) are an important contribuent of the mineral resources and are recognized for their beauty, color, luster and rarity. Important examples are Elbaïtes (Tourmaline group), Beryl, Amethyst, Topaz, Emerald, Euclase, Lápis lazuli, Cordierite and Garnets, the latter being subject of this study. As an important accessory group of minerals, Garnets occur in a variety of different occurrences: igneous, metamorphic and placers. Alto Mirador Pegmatite, the former “Lavra da Pedra Bonita”, is located in Erno district, township of Carnaúba dos Dantas, Rio Grande do Norte State, closed to Frei Martinho twsp/Paraíba State and host Spessartine garnets, presenting orange color with a variety of different shades. Due to their color these Garnets are among the best ever found. The present study try to contribute to detailed charaterization of these specific Garnets and focus on the cause of their color. DuringField work is was observed, that these special Garnets are accompanied by Potassim Feldspar (Microcline), Albite, Quartz, Schorl and Elbaïte, the latter being intensively fractured. Chemical analysis of Spessartines were carried out, applying X-ray Fluorescence on 8 different samples. The analyses pointed out, that in all varities MnO is dominant with FeO in minor contents.

There is a clear relationship between color and MnO content, the color going to a lighter orange with increasing MnO and being darker with increasing FeO. Fe₂O₃ only appears in traces, but has its influence on the color in direction to darker shades. The light orange Spessartines prove to have lowest Fe₂O₃ contents, in the range of half of the darker ones.

KEY WORDS: Spessartines, X-ray-Fluorescence analyses, Borborema Pegmatite Province.

1. INTRODUÇÃO

Designadas como família de minerais silicatados, as Granadas se cristalizam no sistema cúbico, possuem hábito característico, o qual em sua grande maioria se apresenta na forma de dodecaedros. Não apresentam clivagem, e sua dureza está entre 6 a 7,5. Apresentam-se transparente até opaco, de brilho vítreo, e fórmula química geral que pode ser expressa: $X_3 Y_2 Si_3 O_{12}$ (Dwight, 2004).

As espécies mais comuns e conhecidas entre os grupos das granadas são: Almandina de cor vermelha escura e rica em ferro; Grossulária rica em cálcio, apresentando cores nas variedades de amarela, verde e marrom; Espessartita apresenta cor alaranjada em decorrência da quantidade de manganês em sua composição; Piropo rica em magnésio, na cor vermelha amarronzada; Andradita apresenta-se rica em cálcio e ferro, nas variedades de cores entre preta, verde ou amarela; E Uvarovita a qual geralmente é encontrada sob formas de pequenos cristais na cor verde, proveniente da quantidade de cálcio e cromo em sua composição química (MORAES, 1999).

As Granadas podem ainda ser divididas em diferentes séries, são elas: Piralspita (Piropo, Almandina, Espessartita) e Ugrandita (Uvarovita, Grossulária, Andradita) (NETO, 1992).

Designadas como mineral de origem Ígnea ou Metamórfica, as Granadas têm sua ocorrência associada a, Pegmatitos e Granitos (Rochas Ígneas), podendo ocorrer em Xistos e Eclogitos (Rochas Metamórficas). No entanto, são ainda frequentemente encontradas em aluviões, conforme a dureza e estabilidade química deles. Tornam-se assim, um grupo de fundamental importância no estudo da petrografia de diversas Rochas Ígneas e Metamórficas.

A Granada Espessartita é um silicato de Manganês e Alumínio, que forma série com a Almandina. Sua denominação é proveniente do primeiro local, no qual foi encontrada, a cadeia de montanhas Spessart, na Baviera, Alemanha, dando-se o nome de Espessartina, que no Brasil é conhecida como Espessartita.

A Granada Espessartita apresenta um diferencial marcante em seu perfil gemológico, expressando-se sob formas de cristais brilhantes e de cor intensa, fascinante pela beleza e diversidade de cores na escala de tons laranja, variando entre amarelo-laranja, laranja-avermelhada e vermelho-amarronzada.

O presente trabalho revela o estudo realizado na Granada Espessartita, encontrada no Alto do Mirador, próximo ao município de Carnaúba dos Dantas Rio Grande do Norte, a qual um dos jazimentos mais importantes da região, não apenas por apresentar pedras de qualidade gemológica excepcional, bem como pelo porte do depósito.

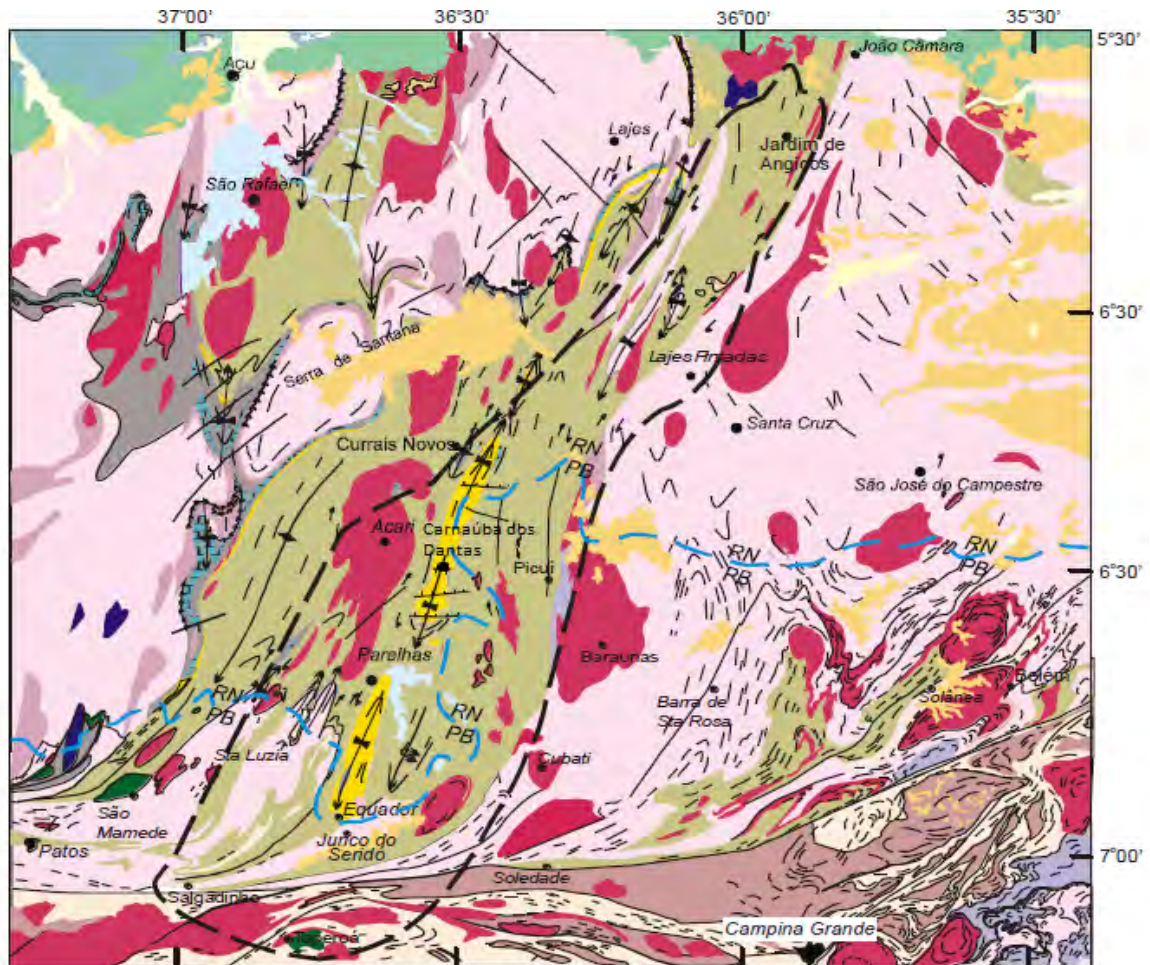
2. OCORRÊNCIA E GEOLOGIA

A Província Pegmatítica da Borborema está localizada entre os Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, a qual é delimitada pelas coordenadas geográficas 5°30' e 7°15' de latitude S e 35°45' e 37°15' de longitude W, o que corresponde à parte oriental da Faixa de Dobramentos Seridó (Figura 1).

Seu corpo mineral é composto em sua grande maioria por minerais industriais de boa qualidade, os quais podem se destacar como principais ocorrências neste segmento comercial minerais de Lítio, Feldspato, Tantalita, Nióbio, Tungstênio e Caulim.

Dentre estas ocorrências, observa-se também a diversidade de Gemas (pedras preciosas) associadas à Província Pegmatítica que se revelam por serem destaques por sua beleza, cor, brilho, e raridade. Têm como importantes exemplos as Turmalinas Elbaítas, Berilo, Ametista, Topázio, Esmeralda, Euclásio, Lazulita, Cordierita, Coríndon e as Granadas, sendo esta última objeto do nosso estudo.

As Granadas encontradas na Província Pegmatítica da Borborema estão sendo estudadas e avaliadas constantemente por suas características físicas e químicas. De forma geral, as Granadas encontradas apresentam-se como mineral acessório comum, de valor variável, ocorrendo associadas ao K-feldspato, Schorlita, Albita e Quartzo.



Compilado do Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte, DNPM/UFRRN/PETROBRÁS /CRM, 1998 e Mapa Geológico do Estado da Paraíba, DNPM/CPRM/CDRM, 2002



Figura 1- Mapa Geológico da Província Pegmatítica da Borborema (DNPM et al., 1998 e DNPM et al., 2002. in: SOARES, D.R. 2004.).

No Alto do Mirador, distrito de Ermo, entre os municípios de Carnaúba dos Dantas (RN) e Frei Martinho (PB) (Figura 2), ocorrem espessartitas que apresentam coloração laranja com

tonalidades variadas, que apresentam em si uma excepcional qualidade gemológica. Tais minerais estão entre as mais belas gemas já encontradas, devido ao seu grau de pureza e cristalinidade.



Figura 2- Mapa de localização da região com importantes ocorrências de gemas espessartitas.

A composição das granadas varia de acordo com sua posição dentro do pegmatito. As granadas espessartitas são caracterizadas por apresentarem em sua composição química um alto teor de MnO, o que fornece informações sobre a sua profundidade de formação, que neste caso apresenta-se em formações mais favoráveis a ambientes menos profundos, tendo em vista que as rochas formadas em ambientes profundos são mais ricas no componente almandina (Fe_3Al_2). A presença de MnO explica portanto a cor alaranjada predominante, ainda mais viva nas espessartitas do Alto do Mirador (Figura 3).



Figura 3- Granadas espessartitas com diferentes tonalidades de laranja, coletadas em Carnaúbas dos Dantas-RN

3. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é caracterizar as Granadas Espessartitas da região de Carnaúbas dos Dantas (RN), identificando através de ensaios químicos os fatores que causam a variação no tom laranja dessas gemas.

4. METODOLOGIA

A metodologia abordada no presente trabalho consiste basicamente em quatro etapas fundamentais, são elas: pesquisa bibliográfica; observações em campo e coleta de amostras de Granada Espessartita; realização de análises químicas através da Fluorescência de Raio-X no Centro de Tecnologia Mineral (CETEM); e interpretação dos resultados obtidos.

Na primeira etapa de estudos bibliográficos foram realizados estudos sobre as diferentes classes das Granadas, bem como suas propriedades físicas e químicas, detalhando a diferença entre cada uma delas, e através desta identificação individual, foi intensificado as características da Espessartita.

Posteriormente, foi realizado a coleta das amostras de Granada Espessartita no município de Carnaúba dos Dantas –RN, na serra do Alto do Mirador, pelo proprietário da jazida local José Aderaldo de M. Ferreira, que gentilmente nos cedeu as amostras para o desenvolvimento deste trabalho.

Com as devidas amostras coletadas deu-se sequência as análises em laboratório, por meio de ensaios de Fluorescência de Raios-X realizados na cidade do Rio de Janeiro, no Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). E por fim os resultados foram expressos em tabela, segundo a porcentagem de cada elemento químico encontrado.

4.1. Fluorescência de Raios-X

Este método é utilizado para caracterizar quimicamente diferentes tipos de materiais. Baseia-se no princípio que a absorção de raios-X ocorrida por parte do material causa uma excitação dos átomos que emitem radiação secundária que é denominada fluorescência de raios-X. Os raios-X assim emitidos pelo material têm comprimento de onda característico e bem definidos para cada elemento químico, a qual se constitui o material irradiado, permitindo realizar a comparação com amostras padrão, e posteriormente estabelecer a proporção dos elementos químicos presentes (LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A., 2010).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através de análises em campo e laboratório, verificou-se que as Espessartitas estão associadas a K-feldspato, Albita, Quartzo, Schorlita e Elbaíta, e, em parte, mostram-se bastante fraturadas, contudo, mesmo assim estas Granadas destacam-se pela sua excepcional cor laranja.

Por meio da análise química, de Fluorescência de Raios-X (Figura 5), obteve-se a comprovação da causa da variação na tonalidade laranja das Granadas Espessartitas, tendo em vista, que este ensaio possibilita a coleta de dados precisos de todas as composições químicas presentes (Tabela 1).

Com os dados coletados, pode ser observada a grande importância, que a presença de cada elemento químico traz a cada gema. Nas Granadas Espessartitas da região de Carnaúba dos Dantas, o alto teor de Manganês (Mn) é o fator determinante para a tonalidade de laranja mais claro nas amostras analisadas, bem como a presença de Ferro (Fe) apresenta-se característico das amostras em tonalidade de laranja mais escuro.

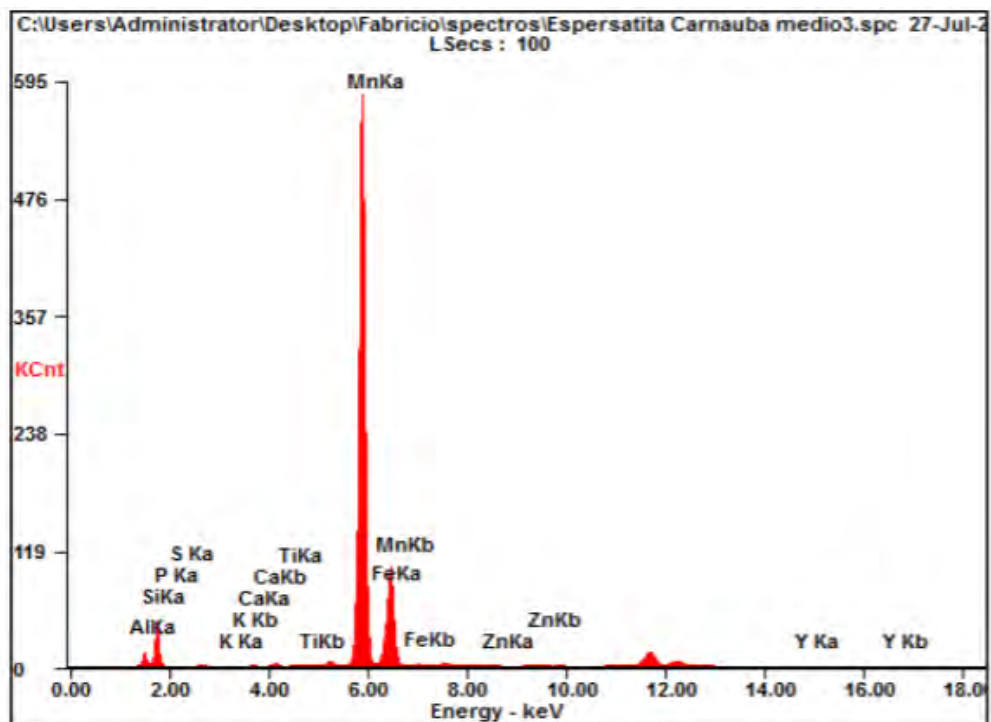
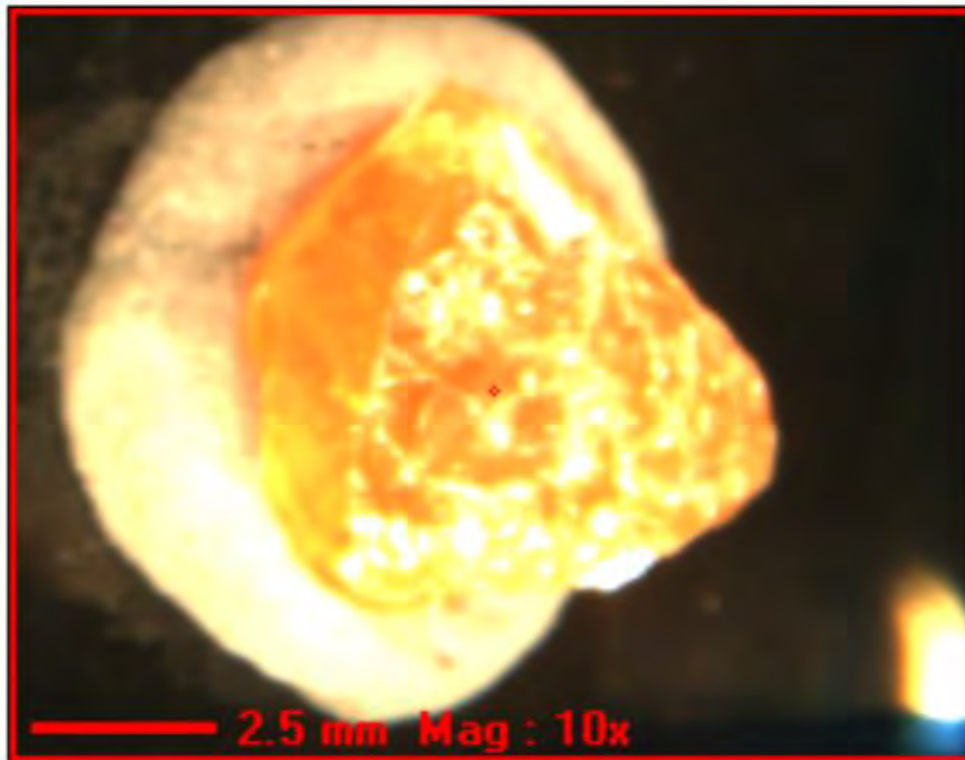


Figura 5- Exemplo das análises através da Fluorescência de Raio-X. À esquerda, exemplo de gráfico com resultados da análise; à direita, exemplo de amostra analisada.

Tabela 1- Resultado da análise química por meio do ensaio de Fluorescência de Raios-X

RESULTADOS														
Elementos	Amostras													
	A		B		C		D		E		F		G	
Oxide	Wt%	At%	Wt%	At%	Wt%	At%	Wt%	At%	Wt%	At%	Wt%	At%	Wt%	At%
Al ₂ O ₃	21.56	15.03	20.72	14.44	20.77	14.39	20.54	14.25	20.18	14.00	21.75	15.19	21.75	15.19
SiO ₂	41.07	48.56	40.76	48.22	39.92	46.95	39.72	46.76	38.83	45.73	41.16	48.80	41.16	48.80
SO ₃	0.03	0.02	1.95	2.47	-	-	-	-	-	-	0.04	0.03	0.04	0.03
CaO	0.35	0.45	33.31	2.47	0.35	0.44	0.41	0.51	0.18	0.23	0.16	0.21	0.16	0.21
MnO	34.96	35.01	33.31	33.39	30.34	30.22	30.59	30.50	35.19	35.11	34.51	34.65	34.51	34.65
Fe ₂ O ₃	1.98	0.88	3.10	1.38	4.87	2.16	4.96	2.20	3.11	1.38	2.09	0.93	2.09	0.93
TiO ₂	-	-	0.03	0.02	0.13	0.12	0.13	0.12	0.10	0.08	0.08	0.07	0.08	0.07
Y ₂ O ₃	-	-	0.08	0.02	0.08	0.03	0.13	0.04	0.08	0.03	0.03	0.01	0.03	0.01
ZnO	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.05	0.08	0.07	0.03	0.02	0.03	0.02
K ₂ O	-	-	0.02	0.02	-	-	-	-	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
MgO	-	-	-	-	3.13	5.49	3.06	5.38	1.79	3.13	-	-	-	-
P ₂ O ₅	-	-	-	-	0.37	0.18	0.40	0.20	0.46	0.23	0.13	0.07	0.13	0.07

6. CONCLUSÃO

A Fluorescência de Raio-x demonstrou que a quantidade de Manganês (MnO) é marcante em todas as variedades de Espessartitas alaranjadas, no entanto, nas de tonalidade mais clara, a quantidade de maior, enquanto que, nas Espessartitas alaranjadas mais escuras, a quantidade de MnO diminui. Em contrapartida, a presença do Ferro (Fe₂O₃), o qual aparece em quantidades ínfimas, porém importantes. Está presente em menor proporção nas amostras de tonalidades mais claras, e em maior quantidade nas amostras de tonalidade escura.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SOARES, D.R. 2004. Contribuição à petrologia de pegmatitos mineralizados em elementos raros e elbaítas gemológicas da Província Pegmatítica da Borborema, Nordeste do Brasil. Tese de Doutorado, UFPE. Recife, 271p.

MORAES, J. F. S. de . Gemas do Estado do Rio Grande do Norte. Recife: CPRM, 1999.

LUZ, Adão Benvindo da., LINS, Fernando Freitas. Aproveitamento Integral dos Pegmatitos do Nordeste- Um tema recorrente. Rio de Janeiro: CETEM, 2002.

FERREIRA, Ana Cláudia M., FERREIRA, José Aderaldo de M., SOARES, Dwight R. Caracterização Química e Mineralógica da Grossulária Gema de Água Fria, Região do Seridó, NE do Brasil. Estudos Geológicos v. 16 (2): 83-92.

EECKHOUT. Sigrid G., CASTAÑEDA. Cristiane, FERREIRA. Ana Cláudia M., SABIONI. Antônio C.S., GRAVE. Eddy de, VASCONCELOS. Daniela C.L. Spectroscopic studies of spessartine from Brazilian pegmatites. American Mineralogist v. 87, p. 1297–1306, 2002.

NETO, Francisco Estrela Dantas. Granadas na Paraíba. Trabalho de conclusão de curso, Monografia- Departamento de Mineração e Geologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1992.

DEER, W.A.; HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J., 1981. Minerais Constituintes das Rochas – Uma Introdução. Fundação Colouste Gulbenkian. Lisboa, 558p.

ESTUDO PARA MELHORAMENTO DO BENEFICIAMENTO DO FELDSPATO NA REGIÃO DE PEDRA LAVRADA - PARAÍBA

Thamires de Castro Almeida¹

¹ Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, Universidade Federal de Campina Grande. Av. Aprígio Veloso 882, Bloco BY, Cidade Universitária, 58109-970 – Campina Grande – PB (Brasil)
thamirescastroalmeida@gmail.com

RESUMO

Feldspato é o termo para denominar um grupo de minerais constituídos de alumínio silicatos de potássio, sódio e cálcio. Representa o mais abundante grupo de minerais constituintes das rochas ígneas. Podem ocorrer em rochas que sofreram metamorfismo térmico ou regional e também são importantes constituintes de muitos sedimentos e rochas sedimentares. A principal função de feldspato é atuar como fundente nas indústrias de vidro e cerâmica. Na indústria vidreira o feldspato é usado como fonte de Al_2O_3 , Na_2O e/ou K_2O e SiO_2 . Na indústria cerâmica o feldspato é o constituinte não plástico que, além da função de fundente, auxilia o corpo cerâmico a manter a sua forma após a queima. As principais reservas de feldspato estão situadas nos estados do Paraná 33%, Rio de Janeiro 17%, Bahia 8%, Paraíba 8%, Minas Gerais 7% e São Paulo 6%. Este trabalho tem como objetivo principal analisar o processo de beneficiamento praticado na região de Pedra Lavrada, onde todo o processo se resume nas etapas de cominuição, classificação por peneiramento, estabelecendo um melhor processo de beneficiamento a fim de ter um produto final de melhor qualidade. Foram estudadas características, químicas, físicas e mineralógicas do feldspato, os estudos foram direcionados para a COMIPEL (Cooperativa dos Mineradores de Pedra Lavrada) situada na região de Pedra Lavrada – PB, onde as amostras coletadas da mesma foram submetidas aos ensaios de determinação mineralógica por DRX (difração de raio x) e análise quantitativa por FRX (fluorescência por raio x). Concluiu-se, portanto, que é necessária a adaptação e acréscimo de dispositivos dos equipamentos, no intuito do produto final ter uma melhor qualidade.

ABSTRAT

Feldspar is the term for a group of minerals consisting of aluminum potassium silicates, sodium and calcium. Is the most abundant mineral constituents of igneous rocks. They can occur in rocks that have undergone thermal metamorphism or regional and are also important constituents of many sediments and sedimentary rocks. The main feldspar function is to act as a flux in the glass and ceramics industries. In glassmaking feldspar is used as a source of Al_2O_3 , Na_2O and / or K_2O and SiO_2 . In the ceramic industry feldspar is not plastic constituent, besides the flux function aids the ceramic body to maintain its shape after firing. The main reserves of feldspar are located in the states of Parana 33%, Rio de Janeiro 17%, 8% Bahia, Paraíba 8%, 7% Minas Gerais and São Paulo 6%. This work has as main objective to analyze the beneficiation process practiced in the region of Transcribed Stone, where the whole process is summarized in the steps of comminution, classification by sieving, establishing a better beneficiation process in order to have a final product of better quality. , chemical, physical and mineralogical feldspar were studied, the studies were directed to the COMIPEL (Cooperative Miners Drawn Stone) located in the region of Transcribed Stone - PB, where the samples of the same were subjected to mineralogical determination tests by XRD (x ray diffraction) and quantitative analysis by XRF (x ray fluorescence). It was concluded therefore that the adjustment devices and equipment increase is required in the final product order to have a better quality.

1. INTRODUÇÃO

Feldspato é o termo para denominar um grupo de minerais constituídos de alumínio silicatos de potássio, sódio e cálcio. Representa o mais abundante grupo de minerais constituintes das rochas ígneas. Podem ocorrer em rochas que sofreram metamorfismo térmico ou regional e também são importantes constituintes de muitos sedimentos e rochas sedimentares.

A principal função de feldspato é atuar como fundente nas indústrias de vidro e cerâmica. Na indústria vidreira o feldspato é usado como fonte de Al_2O_3 , Na_2O e/ou K_2O e SiO_2 . Na indústria cerâmica o feldspato é o constituinte não plástico que, além da função de fundente, auxilia o corpo cerâmico a manter a sua forma após a queima.

As principais reservas de feldspato estão situadas nos estados do Paraná 33%, Rio de Janeiro 17%, Bahia 8%, Paraíba 8%, Minas Gerais 7% e São Paulo 6%.

No mundo, a lavra de feldspato é mecanizada e geralmente feita a céu aberto. O corpo do minério é desmontado através de explosivos a base de nitrato de amônia. O minério desmontado sofre uma redução de tamanho através do sistema denominado *drop ball*. Na região Nordeste e norte de Minas Gerais encontram-se as principais províncias pegmatitas do país. De modo geral, os métodos de lavra, até agora empregados, são ainda extremamente empíricos, predatórios e sem nenhuma técnica de engenharia de minas.

O beneficiamento de feldspato geralmente envolve flotação e separação magnética para remover os minerais acessórios tais como mica, granada, ilmenita e quartzo. No caso de depósitos de pegmatitos e de areia feldspática, o quartzo ocorre como co-produto. Em algumas aplicações, a presença da sílica é vantajosa, no entanto em outras requer um feldspato bastante puro e moído.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O feldspato engloba uma série de silicatos de alumínio, contendo proporções variadas de potássio, sódio, cálcio e, ocasionalmente, bário. Os feldspatos sódicos e os potássicos tem grande aplicação nas indústrias cerâmicas e de vidro. Sua função no corpo cerâmico é a de promover a fusão a uma temperatura mais baixa. No vidro é a fonte principal de alumínio, além da função de fundente.

Se apresenta com as seguintes características:

- Cor: branco róseo
- Aspecto óptico: translucido e transparente
- Brilho: não-metálico, vítreo
- Dureza: escala de Mohr = 6,0 a 6,5
- Peso específico: 2,5 a 2,8
- Sistema de cristalização: monoclinico, triclinico
- Hábito: cristal prismático ou compacto
- Composição química: $(\text{Na K})\text{AlSi}_2\text{O}_3$, $\text{CaAl}_2\text{SiO}_3$, $\text{BaAlSi}_2\text{O}_3$.

O crescimento no consumo de feldspato está dominado pelas indústrias de revestimento cerâmico e de coloríficos, visto que a indústria de vidro, em particular a de

embalagem, tem apresentado um baixo crescimento, atribuído aos substitutos – PET e latas metálicas – bem como ao aumento crescente da reciclagem de vidro. Esse aumento pela demanda de feldspato deve-se ao desenvolvimento do processo de produção de porcelanato que utiliza na massa cerâmica cerca de 60% de feldspato. A tabela 1 apresenta alguns dados estatísticos sobre o feldspato:

Discriminação		Unidade	2011 ^(r)	2012 ^(r)	2013 ^(p)
Produção ⁽¹⁾	Bruta	(t)	416.008	328.001	320.048
	Beneficiada	(t)	333.352	247.152	294.357
Importação	Feldspato	(t)	63	149	431
	NCM 25291000	(US\$/-FOB)	176.534	239.179	336.629
Exportação	Feldspato	(t)	5.709	3.630	707
	NCM 25291000	(US\$/-FOB)	1.693.000	961.365	245.581
Consumo Aparente ⁽²⁾	Beneficiada	(t)	327.706	243.671	294.081
Preços	Bruto ⁽³⁾	(R\$/t-FOB)	70,34	105,44	133,90
	Beneficiado ⁽³⁾	(R\$/t-FOB)	108,83	134,61	135,56
	Exportação ⁽⁴⁾	(US\$/t-FOB)	296,55	264,84	347,36

Fontes: DNP/MDIC, MDIC/SECEX.

(1) Produção de empresas detentoras de concessão de lavra; (2) produção + importação – exportação; (3) preço médio-FOB, mercado interno; (4) preço médio do feldspato exportado; (p) dados preliminares; (r) dados revisados.

As maiores reservas medidas dos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte estão localizadas em Nova Palmeira (PB) com 20.162.175 toneladas, Frei Martinho (PB) com 5.113.319 toneladas, Alexandria (RN) com 16.201.845 toneladas e Parelhas (RN) com 10.778.425 toneladas conforme pode-se observar na tabela 2.

UNIDADE DA FEDERAÇÃO/MUNICÍPIOS	Reservas (1)			
	Medida	Indicada	Inferida	Lavrável
PARAÍBA	29.925.932 t	6.683.822 t	52.312 t	30.022.084 t
Frei Martinho	5.113.319	—	—	5.113.319
Nova Palmeira	20.162.175	100.004	—	20.262.179
Pedra Lavrada	4.070.470	6.418.841	—	4.070.470
Picuí	388.933	74.235	49.092	365.081
São Mamede	107.992	34.901	3.220	107.992
Seridó	83.043	56.041	—	83.043
RIO GRANDE DO NORTE	31.154.607 t	609.842 t	443.692 t	31.351.516 t
Alexandria	16.201.845	—	—	16.201.845
Currais Novos	3.626.063	250.000	250.000	3.626.079
Equador	548.274	192.905	—	736.179
Parelhas	10.778.425	166.937	193.692	10.787.413

3. BENEFICIAMENTO DO FELDSPATO NA COMIPEL

No mundo, a lavra de feldspato é mecanizada e geralmente feita a céu aberto. Na fase inicial é feito o decapeamento, normalmente com uma relação 1:1 de estéril/minério. O corpo do minério de feldspato é desmontado através de explosivos a base de nitrato de amônia, colocados em furos de grandes diâmetros efetuados por perfuratrizes rotativas. O minério desmontado sofre uma redução de tamanho através do sistema denominado drop ball.

O minério lavrado é colocado por pás carregadeiras em caminhões e transportado até a unidade de britagem, adjacente à unidade de beneficiamento. A britagem primária é efetuada por britador de mandíbulas em circuito aberto, enquanto a britagem secundária é feita em britador giratório de dois ou três estágios, algumas vezes em circuito fechado com peneiras.

O produto final da britagem, menor que 25mm, é submetido a uma moagem via úmida. Essa moagem pode ser feita em moinhos de barra ou de bola, em circuito fechado com um classificador, de modo a obter-se uma melhor operação. Posteriormente, o minério moído a úmido sofre uma deslamagem, através de hidrociclones, a fim de ser eliminada a fração menor que 38 μ .

4. FLUXOGRAMA DE BENEFICIAMENTO DE FELDSPATO NA COMIPEL – COOPERATIVA DE MINERADORES DE PEDRA LAVRADA

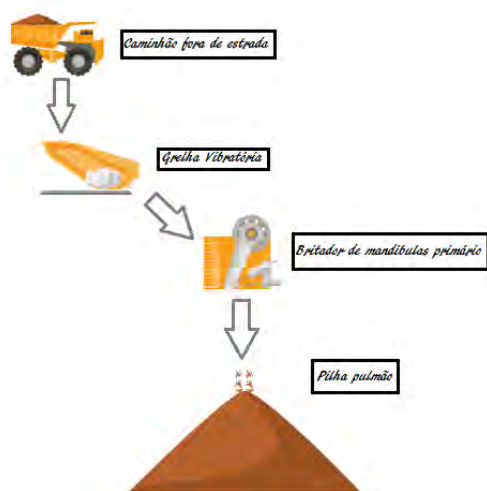


Figura 1 – Primeira etapa de beneficiamento

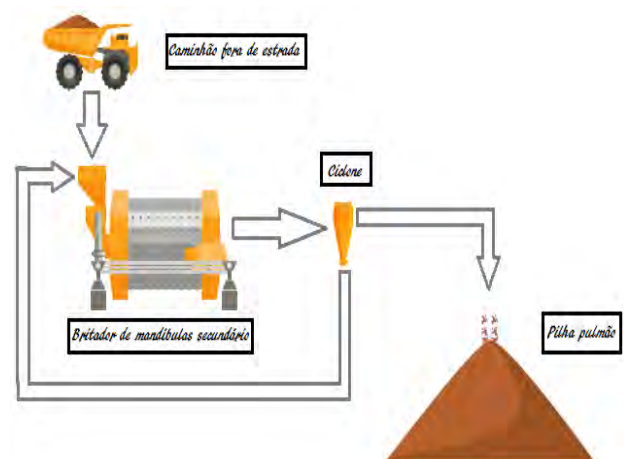


Figura 2 – Segunda etapa de beneficiamento

1. BRITADOR DE MANDÍBULAS PRIMÁRIO:

- Dimensões da boca de alimentação: 36 cm de comprimento X 24 cm de largura;
- Dimensões da boca de descarga: 36 cm de comprimento X 12 cm de largura;

2. BRITADOR DE MANDÍBULAS SECUNDÁRIO:

- Dimensões da boca de alimentação: 86 cm de comprimento X 18 cm de largura;
- Dimensões da boca de descarga: 86 cm de comprimento X 3 cm de largura;

3. MOINHO TUBULAR DE SEIXOS:

- Comprimento: 230 cm (sem as tampas);
- Diâmetro interno: 115 cm

Descrição dos equipamentos das etapas de beneficiamento do feldspato na COOMIPEL

5. CONCLUSÃO

Diante do trabalho apresentado, conclui-se que o beneficiamento de feldspato na região de Pedra Lavrada, realizado pela COOMIPEL, é de maneira simples e rudimentar sendo realizado pelos associados da cooperativa. Os equipamentos de beneficiamento apresentam-se em estado de bom uso podendo ser aprimorado para que a produção de feldspato tratado seja melhor aproveitada, trazendo lucratividade para a Cooperativa da região.

Para isso estão sendo realizados alguns estudos de melhoramento no beneficiamento, as pesquisas ainda estão em andamento tendo previsão de conclusão ainda este ano. Sendo assim, não podemos concluir a respeito do resultado final.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. JESUS, C. A. G.(2014). Feldspato. Sumário Mineral-DNPM.
2. LUZ, A. B.; LINS, F. F.; PIQUET, B.; COSTA, M. J. e COELHO, J. M. (2003). Pegmatitos do Nordeste – Diagnóstico sobre o aproveitamento racional e integrado. Série Rochas e Minerais Industriais, n.9, 49p., CETEM/MCT.
3. http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P28_RT45_Perfil_do_Feldspato.pdf/201fb0fc-0c79-45ad-8a22-b857958a4c8d. Acessado em 05 de julho de 2015.
4. <http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2004-121-00.pdf>. Acessado em 08 de julho de 2015.

REUTILIZAÇÃO DA ÁGUA NAS USINAS DE BENEFICIAMENTO NA ATIVIDADE MINERAL

Vânia Maria de Melo Tavares¹, Ilana Maria da Silva Santos ², Mauro Froes Meyer ³

1 Estudante de mineração, IFRN (Instituto Federal do Rio Grande do Norte)

2 Estudante de mineração, IFRN (Instituto Federal d Rio Grande do Norte)

3 Coordenador do curso técnico de mineração, IFRN (Instituto Federal do Rio Grande Norte)

E-mail: vaniamelotavares@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho tem o intuito de demonstrar como é feita o tratamento da água e a sua reutilização nas usinas de beneficiamento mineral, especificamente nas usinas de beneficiamento, pois estas dispõem de uma ampla gama de equipamentos de cominuição (britagem e moagem), classificação, separação, bem como concentração (densitária, magnética, eletrostática e flotação) e aglomeração. Vale salientar que a atividade de mineração está condicionada à interação com os recursos naturais e a disponibilidade destes. Em grande parte dos processos de produção, a água é utilizada como insumo. Sendo assim, os recursos hídricos são vitais para a atividade de mineração. Sabe-se que as atividades produzidas na mineração são de extrema importância para o desenvolvimento da humanidade e os recursos minerais nelas extraídas são utilizadas como fonte de matéria-prima para diversos segmentos do setor industrial, como também na construção civil, além de serem aproveitados como fontes energéticas e na produção de fertilizantes. A extração de substâncias minerais causa impactos ao meio ambiente, implicando na redução da vegetação e em processos erosivos, como também na qualidade da água. A água é um recurso natural abundante e encontrada principalmente nos mares e oceanos, que cobrem 71% da superfície da Terra. No entanto, 97% de toda a água existente é água salgada e apenas 3% restante é água doce. Cabe ressaltar que cerca de 2% da água doce está congelada nos polos e apenas 1% é água doce encontrada no estado líquido. Dessa maneira, busca-se realizar uma avaliação com relação ao uso da água na mineração, com foco na preocupação das empresas mineradoras sobre o reaproveitamento da mesma, a qual é relevante para a sobrevivência dos seres vivos.

PALAVRAS-CHAVE: água, processing mineral, reutilização.

ABSTRACT

This study aims to demonstrate the reuse of water and how it is made use of it in mining, specifically in the beneficiation plants, because they have a wide range of size reduction equipment (crushing and grinding), classification, separation, and concentration (densitária, magnetic, electrostatic and flotation) and agglomeration. It is noteworthy that the mining operation is subject to interaction with natural resources and their availability. In most production processes, water is used as an input. Therefore, water resources are vital to the mining activity. It is known that the activities produced in mining are extremely important for the development of humanity and mineral resources therein extracted are used as a source of raw material for various segments of the industrial sector, but also in construction, and are utilized as and energy sources in the production of fertilizers. The extraction of minerals cause impacts on the environment, resulting in the reduction of vegetation and erosion, as well as in water quality. Water is an abundant natural resource and mainly found in the seas and oceans, which cover 71% of Earth's surface. However, 97% of all the water is salted water and only remaining 3% is fresh water. It is noteworthy that about 2% of the fresh water is frozen at the poles and only 1% is fresh water found in the liquid state. In this way, we seek to carry out an evaluation in relation to water use in mining in order to concern the mining companies on the reuse of the same, which is relevant for the survival of living beings.

KEYWORDS: Water, processing mineral, reuse.

1. INTRODUÇÃO

A água em estado líquido é incolor, insípida e inodora, esta é essencial para a vida da maior parte dos organismos vivos e excelente solvente para muitas outras substâncias. Atualmente, o mundo passa por uma crise hídrica, a qual exige da sociedade muita conscientização para que possa progredir na busca de soluções perenes para a questão, visando isto a mineração que é um setor responsável por abranger os processos de atividades indústrias, cujo objetivo é a extração de

substâncias minerais a partir de depósitos ou massas minerais. A finalidade do presente trabalho é realizar uma pesquisa do percurso da água nas usinas de beneficiamento e como a mesma pode ser reutilizada ao final do processo.

2. METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão bibliográfica da utilização da água na mineração, especificamente nas usinas de beneficiamento, através de pesquisas que apontam empresas que exercem a atividade mineral, com a recuperação da água utilizando filtros, espessadores ou bacias de rejeitos, esta é para minimizar os custos operacionais, reduzir a quantidade de efluentes e, em alguns casos, para recuperação dos reagentes. O reaproveitamento da água tem sua importância nas questões econômicas e ambientais, tendo em vista, que o emprego da água utilizada na atividade mineradora reduz de forma significativa a necessidade de água nova na usina, e minimiza os custos de captação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO – DIAGNOSTICO DO PROCESSAMENTO MINERAL

3.1 Tratamentos de Minério e à água em uso:

Na mineração o beneficiamento consiste em operações que buscam modificar a granulometria, a concentração relativa e/ou a forma dos minerais, sem que haja modificação das identidades química e físicas dos minerais. Visa-se, através de operações de aglomeração, remover os minerais de ganga (não tem valor econômico) dos minerais de minério (minerais valiosos, passíveis de serem explorados economicamente). No processamento mineral a água é imprescindível para a maioria das operações, visto que a atividade minerária provoca alterações na vegetação, contaminação dos solos, poluição de recursos hídricos, entre outros. O consumo da água nas atividades de mineração pode variar segundo o tipo de mineral explorado, as tecnologias envolvidas no processo de lavra e beneficiamento, a taxa de produção, entre outros. A *Figura 1* apresenta as possíveis fontes de água, que podem ser utilizadas em qualquer etapa da mineração, além de algumas utilidades nas etapas de lavra, beneficiamento e transporte do minério que utilizam ou consomem água.

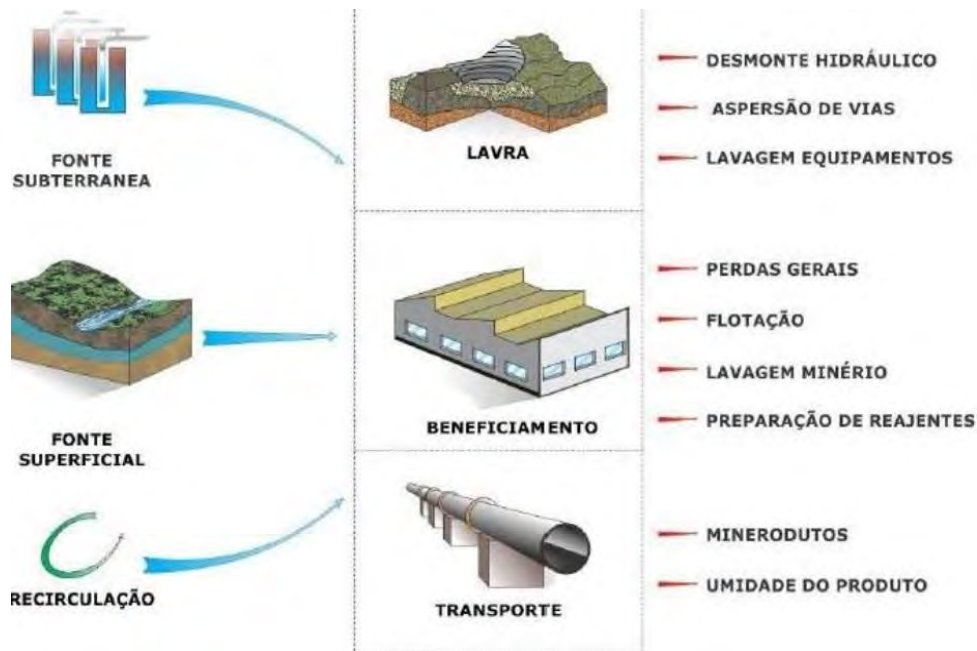


Figura 1 – Possíveis Fontes e locais de consumo de água
(Fonte: <http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/1011M.PDF>)

A seguir serão apresentadas as operações unitárias que demandam quantidades expressivas de água no tratamento de minério:

No processo de cominuição, que é uma etapa responsável pela redução das partículas, o beneficiamento de minério pode ser realizado pela etapa de britagem ou de britagem associada a moagem. Embora as operações de britagem e moagem possam ser consideradas processos físicos que não dependem de água, porém o atrito entre as partículas acaba por gerar grande quantidade de particulados finos que possuem grande potencial para ser carregados pela ação dos ventos e ocasionar a contaminação ambiental. Visando minimizar tais problemas faz-se necessário a utilização de britadores a úmida.



Figura 1 – Britador a úmido (Fonte: <http://3.bp.blogspot.com/-CX417gSEGiA/UIgZBV6CzSI/AAAAAAAAAPA/8QiJIAo9eG4/s1600/barra+spray.jpg>)



Figura 2 – Britador a seco (Fonte: <http://3.bp.blogspot.com/-CX417gSEGiA/UIgZBV6CzSI/AAAAAAAAAPA/8QiJIAo9eG4/s1600/barra+spray.jpg>)

Dentre os processos de concentração está a etapa de flotação Figura 3, que é entendida como a separação de partículas suspensas em meio líquido com o uso de reagentes químicos chamados “coletores”. Cabe lembrar que, na flotação, o total de água utilizada chega a 85% do volume da polpa de minério. Por sua vez, são ainda importantes nesse processo reagentes de outros tipos, como os espumantes, os depressores, os ativadores e os modificadores de pH. O método ocorre com a formação de bolhas de ar induzidas em meio líquido pelo borbulhamento de gás. Como as bolhas possuem densidade menor que a fase líquida, acabam subindo para a

superfície e levando consigo as partículas seletivamente aderidas em função da afinidade da superfície da partícula com a fase gasosa (<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/1011M.PDF>). A concentração gravítica ou gravimétrica consiste em outro método, cujo processo se baseia na separação entre os minerais presentes pela diferença de densidade, tamanho e forma existentes. Este processo utiliza através da gravidade, forças centrífugas ou conjuntas, por meio fluido (água ou ar) visando efetivar a separação/concentração dos minerais existentes. Texto muito confuso e de difícil compreensão! No processo de concentração gravítica são utilizados equipamentos como jigsawes, mesas vibratórias, espirais, cones e "sluices". A separação eletrostática se baseia na concentração de minérios que se baseiam nas diferenças de algumas de suas propriedades, tais como: condutibilidade elétrica, susceptibilidade em adquirir cargas elétricas superficiais, forma geométrica, densidade, entre outras.

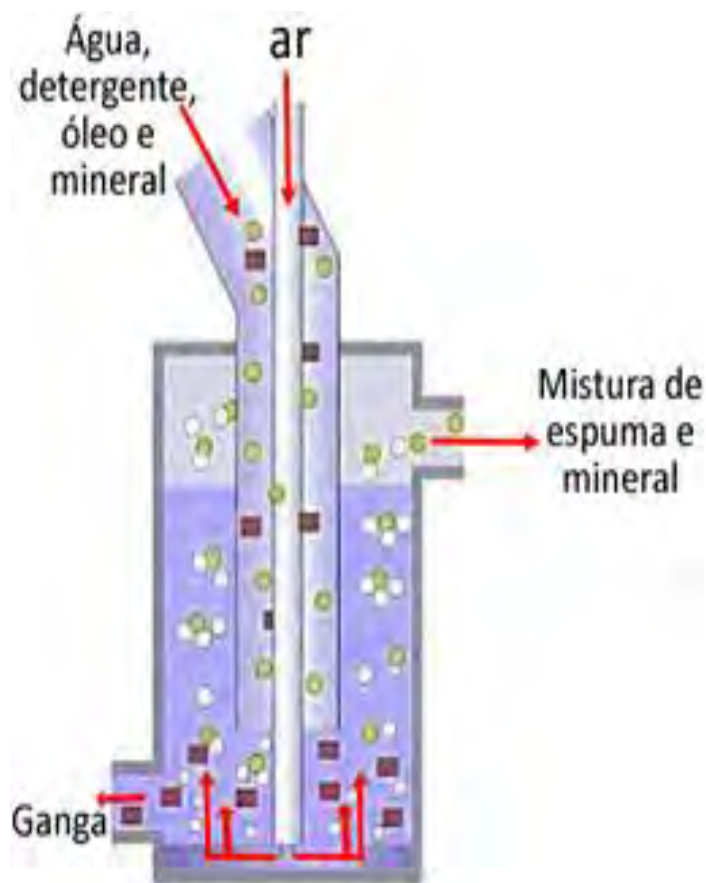


Figura 3 - Processo de Flotação

(Fonte: <http://alunosonline.uol.com.br/upload/conteudo/images/separacao-por-flotacao.jpg>)

3.2 Espessadores

Os espessadores são equipamentos em formato de tanques, o qual recebem a polpa que vem da usina de beneficiamento de minério, este equipamento realiza a separação sólido-líquido, este procedimento denomina-se espessamento, de acordo com o Professor Dr. Eduardo de Magalhães Bragas, orientador do trabalho sobre “Separação sólido-líquido” o processo acontece da seguinte maneira o sólido-líquido é separado através da diferença entre as densidades dos constituintes de uma suspensão; a remoção das partículas sólidas presentes em uma corrente líquida se dá pela ação do campo gravitacional, com o intuito de se obter a água já separada do material sólido, a qual seguirá para o processo de clarificação, ou seja o tratamento dela para retirar os resíduos de minérios ainda restante e ela poderá voltar a ser reutilizada no processo de beneficiamento mineral.

3.3 Barragem de Rejeito

É uma estrutura de terra construída para armazenar resíduos e mineração. Os resíduos materiais que não possui maior valor econômico, mas para salvaguardas ambientais deve ser devidamente armazenado, pois estes podem vir a contaminar o meio ambiente se não forem acondicionados. Nestas acontece o processo de decantação, que visa separar misturas heterogêneas, no caso a água da parte sólida, que após a separação pode ser reaproveitada ou usada para preencher a cava da própria mina, enquanto a água é tratada e recirculada ao tratamento de minérios.

3.4 Reutilizações da água tratada

O processo se inicia com a retirada de água nova através de captação superficial ou subterrânea, onde 10% da água captada vão para o reservatório, que é utilizado para alimentar a planta de beneficiamento para o processo de tratamento do minério, onde 100% é aplicado na usina de beneficiamento. A Figura 6 remete-se a um esquema da utilização de água tratada para ser reutilizada em uma usina de minério de ferro.

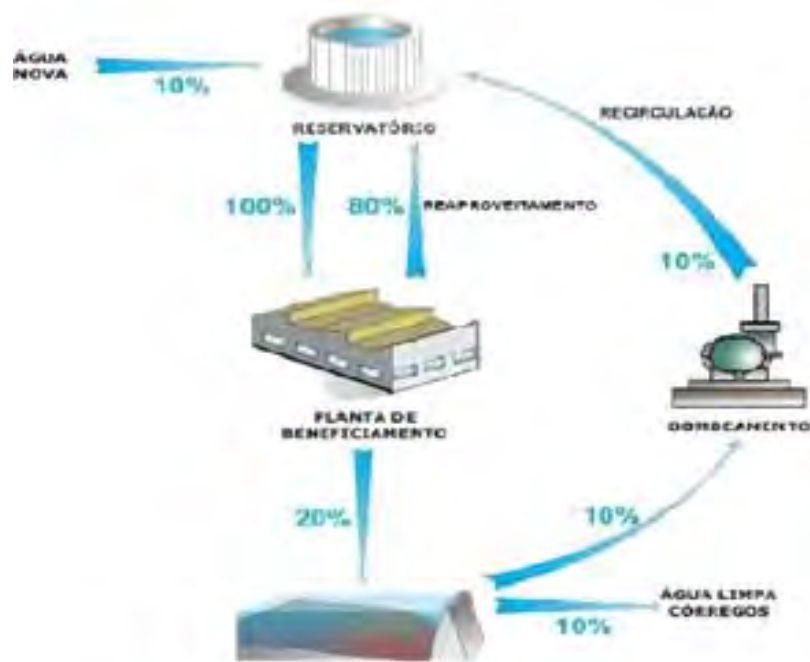


Figura 6 – Esquema de utilização de água em mineração de ferro
(Fonte: <https://mail.google.com/mail/u/0/#inbox/1531e473cce650e8?projector=1>)

4. CONCLUSÃO

Por fim, através do presente trabalho, foi possível analisar as etapas do uso da água nas usinas de beneficiamento da atividade mineral, especificamente durante os processos de fragmentação, britagem/moagem e concentração. Sendo assim, é necessário procedimento eficaz e corretivo, que auxiliem no tratamento da água e na sua recirculação, a qual a mesma esteja apta a novos procedimentos no tratamento de minérios, evitando assim a captação desta por meio de drenagem da água do subsolo, lençol freática, rios e seus afluentes. A sua reutilização tem como objetivo maior minimizar os custos operacionais, reduzir a quantidade de efluentes para o meio ambiente e, em alguns casos, para recuperação dos reagentes. O emprego da água reutilizada reduz de forma significativa a necessidade de água nova na usina, e minimiza os custos de captação.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DOMINGUES, A. F.; BOSON, P. H. G.; Alípez, S. A Gestão dos Recursos Hídricos e a Mineração. Agência Nacional de águas. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro de Mineração, Brasília DF (Junho/2006).

BRAGA, E. M.; FILHO, L. S. B. Separação Sólido – Líquido. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAawGAAA/separacao-solido-liquido>>. Belém, PA (Maio/2010).

FREITAS, S. P. O impacto do uso e consumo de água na mineração sobre o bloco de energia assegurada em empreendimentos hidrogeradores: Estudo de caso da PCH Bicas. Belo Horizonte (2012).

CARACTERIZAÇÃO DO CAULIM DE EQUADOR/RN POSTERIOR AO PROCESSO DE CLASSIFICAÇÃO EM HIDROCICLONE

Vitor Leão Santana¹, Elbert Valdiviezo Viera², Francisco Wilson Hollanda Vidal³

¹ Programa de Pós-Graduação em Exploração Petrolífera e Mineral - PPGEPM/ UAMG/CTRNUFCG - Av. Aprígio Veloso, 882, Bloco BY, Cidade Universitária, 58109-970 Campina Grande - PB (Brasil)
vitorlsantana@gmail.com

² Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, Universidade Federal de Campina Grande. Av. Aprígio Veloso 882, Bloco BY, Cidade Universitária, 58109-970 – Campina Grande – PB (Brasil)
elbertvaldiviezo@hotmail.com

³ CETEM - Centro de Tecnologia Mineral, Avenida Pedro Calmon, 900, Cidade Universitária 21941-908 – Rio de Janeiro – RJ (Brasil)
fhollanda@cetem.gov.br

RESUMO

O caulim é uma rocha de granulometria fina, constituída de material argiloso, normalmente com baixo teor de ferro, de cor branca ou quase branca. O diâmetro das partículas e a sua forma de distribuição são fatores importantes no controle das muitas propriedades físicas do caulim. O tamanho da partícula utilizado como padrão para uso comercial é de 2,0 μm . No Brasil, os depósitos de caulim nos Estados do Amazonas, Pará e Amapá são do tipo sedimentar, caracterizando-se por grandes reservas e com propriedades físico-químicas para diversas aplicações industriais. Nos estados de Minas Gerais, Paraíba, São Paulo, Goiás, Santa Catarina e Paraná verifica-se uma predominância de caulim primário, originado tanto da alteração de pegmatitos como do intemperismo de rochas de granitos. Os caulins ocorrem associados a várias impurezas, não atendendo, dessa forma, às especificações de mercado. Para promover o seu melhor aproveitamento é necessário realizar operações de beneficiamento, as quais vão depender do uso a que se destina. Uma das principais etapas do beneficiamento é a utilização de hidrociclones, que realizam uma classificação granulométrica. Este trabalho foca o estudo do caulim após a etapa de classificação em hidrociclone, tendo como objetivo avaliar a operação de classificação, através das curvas granulométricas obtidas por um granulômetro do tipo Malvern. Também foram realizados ensaios de difração de raios-x (DRX) para diferentes ajustes realizados no hidrociclone, variando-se parâmetros como vazão de alimentação, pressão de alimentação e diâmetro do *apex*, para assim se avaliar a qualidade do caulim. Na sequência, imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizadas para se observar as características de textura e morfológicas, entre outras

características, do caulim da região. Os resultados obtidos permitiram quantificar os parâmetros e variáveis onde o processo de beneficiamento de caulim é mais eficiente.

PALAVRAS-CHAVE: caulim, análise granulométrica, caracterização.

ABSTRACT

Kaolin is a fine-grained rock consisting of clay material, usually with low iron content, white or almost white color. The particle diameter and its distribution are important factors in the control of many physical properties of kaolin. The size of the particle used as the standard for commercial use is 2.0 micrometers. In Brazil, the kaolin deposits in the states of Amazonas, Pará and Amapá are the sedimentary type, characterized by large reserves and physicochemical properties for various industrial applications. In the states of Minas Gerais, Paraíba, São Paulo, Goiás, Santa Catarina and Paraná there is a predominance of primary kaolin, originated both pegmatites change as the weathering of granite rocks. Kaolins occur associated with various impurities not serving thus to market specifications. To promote their best use is necessary to perform processing operations, which will depend on the use to which it is intended. One of the main processing stages is the use of hydrocyclones, which perform a size classification. This work focuses on the study of kaolin after the classification step in hydrocyclone, and to evaluate the sorting operation by the size distribution curves obtained by a particle size analyzer from Malvern type. Also x-ray diffraction experiments were performed (XRD) for different settings within the hydrocyclone, varying parameters such as feed flow, feed pressure and the apex diameter, to thereby evaluate the quality of kaolin. In sequence, scanning electron microscopy images (SEM) were performed to observe the characteristics of texture and morphology, among other features, kaolin in the region. The results allowed us to quantify the parameters and variables where the kaolin beneficiation process is more efficient.

KEYWORDS: kaolin, particle size analysis, characterization.

1. INTRODUÇÃO

O caulim é constituído principalmente de caulinita, um silicato de alumínio hidratado, cuja célula unitária é expressa por $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$. A caulinita é um filosilicato (argilo-mineral) com composição química teórica de 39,50 % de Al_2O_3 , 46,54 % de SiO_2 e 13,96 % de H_2O (Grim, 1958)

A presença de minerais do tipo quartzo, critobalita, alunita, esmectita, ilita, moscovita, biotita, clorita, gibsita, feldspato, anatásio, pirita e haloisita pode prejudicar a qualidade do caulim, afetando propriedades importantes como a alvura, a brancura, a viscosidade e a abrasividade. O diâmetro das partículas e a sua forma de distribuição são fatores importantes no controle das muitas propriedades físicas do caulim.

O presente trabalho objetivou a caracterização, em termos de granulometria e mineralógica do material de alimentação (-60 malhas), do *underflow* e do *overflow*, do processo de classificação do caulim em hidrociclone, da unidade pertencente à empresa JPR Mineração, localizada no município de Equador-RN. O método de caracterização usado foi análise granulométrica, DRX e MEV associado a EDS. Os resultados de DRX permitiram qualificar a presença de outros minerais associados ao caulim. O estudo do MEV avaliou qualitativamente a eficiência da classificação e detectar outros minerais contaminantes no overflow do hidrociclone.

2. AMOSTRA DE CAULIM

O caulim da região Borborema-Seridó é de origem primária, essencialmente caulínico, e encontra-se associado aos minerais quartzo, feldspato e moscovita. A fração abaixo de 37 μm corresponde, aproximadamente, a 47 % em massa da alimentação. As principais impurezas são os óxidos de ferro, hematita e magnetita. (Da Silva, 2008). O caulim da região do Seridó é encontrado compondo veios pegmatíticos, denominados pelos pequenos mineradores de visgos. O caulim é retirado de forma artesanal de onde é levado para as unidades de beneficiamento.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente a amostra foi submetida à homogeneização e também ao quarteamento, visando que cada sub-amostra seja representativa. Essa etapa foi efetuada nos laboratórios do CETEM-RJ. Nesta etapa, duas partes do todo foram selecionadas: uma para ser enviada para análise

granulométrica e outra para difração de raios X. O quarteamento foi realizado com auxílio do *Rotary Micro Riffler* da marca Quantachrome.

Os ensaios de caracterização granulométrica foram realizados em um granulômetro *Malvern Instruments*, e seus dados processados em conjunto pelo programa *Mastersizer 2000*.

Os ensaios de difração de raios-X foram realizados num equipamento D4 ENDEAVOR, e para auxiliar a interpretação dos dados, foi utilizado um Banco de Dados, a partir do aplicativo EVA. Para algumas das amostras com granulometria grosseira foi realizada a cominuição em gral de ágata.

Para os ensaios de Microscopia Eletrônica de Varredura foram analisadas cinco amostras: a alimentação, duas amostras diferentes do *underflow* e duas amostras diferentes do *overflow*. As amostras foram metalizadas com ouro num metalizador *Sputter Coater BAL-TEC SCD005*, utilizando-se também de gás argônio nesse processo de metalização. O Microscópio utilizado foi o TM3030 PLUS TABLETOP MICROSCOPE HITACHI. O mesmo utiliza acoplado um sistema EDS da BRUKER de modelo QUANTAX 70 (Figura 1).



Figura 1 – Granulômetro Malvern (acima), Difratorômetro de Raios-X D4 ENDEAVOR (abaixo à esquerda) e Microscópio Eletrônico de Varredura HITACHI (Fonte: Próprio autor).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de caracterização granulométrica foram representados em gráficos plotando-se o tamanho da partícula (μm) versus porcentagem acumulada (%). Esses gráficos de frequência acumulada (Figura 2) podem ser traçados com ajuda de *softwares* como o Excel ou o Origin. Pode-se representar num mesmo gráfico a curva de alimentação, underflow e overflow, respectivamente.

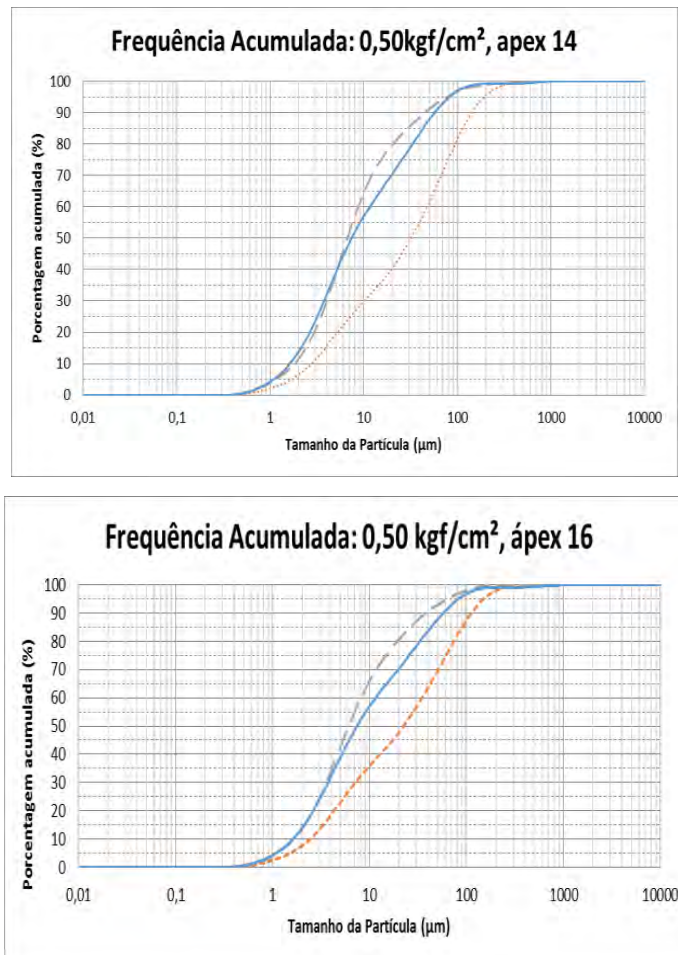


Figura 2 – Curvas de frequência acumulada obtidas para diferentes aberturas do ápex do hidrociclone. Cinza: Overflow; Azul: Alimentação; Vermelha: Underflow.

Nessa figura, as curvas de cima foram obtidas com o hidrociclone operando com uma pressão de alimentação de $0,50 \text{ kgf.cm}^{-2}$ e abertura do ápex de 14 mm. As curvas (parte inferior da figura) foram obtidas com a mesma pressão de alimentação e abertura do ápex de 16 mm.

Os resultados mostraram que o diâmetro de corte, medido no overflow do ciclone, pode ser ajustado, controlando-se a abertura do ápex. Na Figura 2, verifica-se que para um d_{50} , com abertura do ápex passando de 14 para 16 mm, obtém-se um overflow com granulometria mais fina.

Os resultados de Difração de Raios-X foram avaliados através do software EVA (Banco de dados utilizado para a identificação dos minerais). A Figura 3 mostra o difratograma de DRX correspondente ao material de alimentação ao hidrociclone.

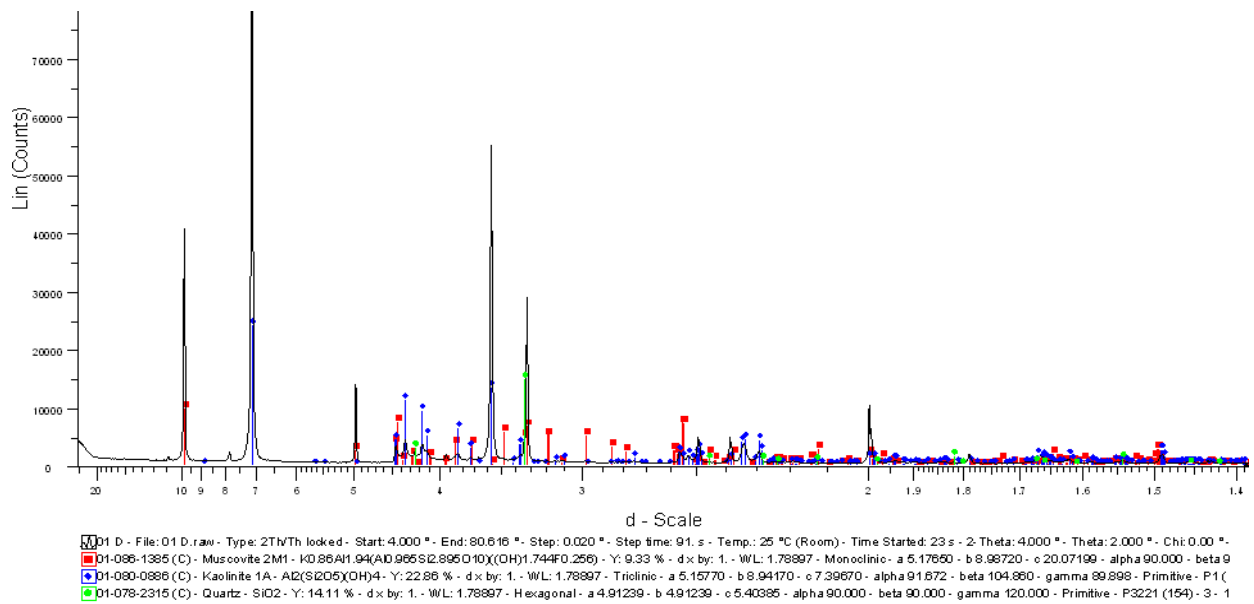


Figura 3 – Difratoograma de DRX da amostra de alimentação, mostrando a presença de diversos minerais.

A Figura 3 mostra que além de caulinita (raias em azul), também verificou-se a presença de mica, principalmente moscovita (raias em vermelho) e de quartzo (raias em verde). Os óxidos de ferro e outros óxidos metálicos não foram detectados devido às pequenas porcentagens em que esses encontram-se no minério.

As imagens do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) foram obtidas em diversas escalas (Figura 4). Essas imagens permitem avaliar qualitativamente a eficiência da classificação, além de detectar outros minerais presentes na alimentação e nos produtos overflow e underflow, respectivamente.

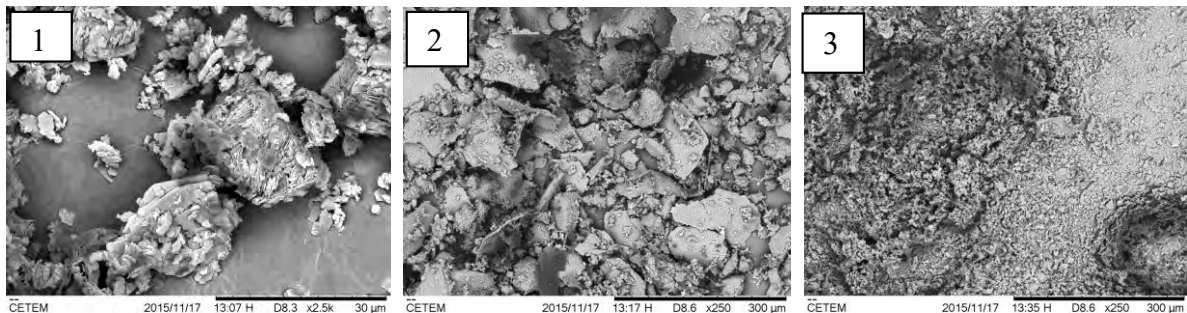


Figura 4 – Imagens obtidas pelo microscópio eletrônico de varredura. Na sequência, alimentação, *underflow* e *overflow*.

Nessa figura, observa-se nas micrografias correspondentes ao underflow e overflow, uma significativa diferença na granulometria, cabendo ao overflow uma granulometria muito mais fina e uma textura mais homogênea, em comparação ao underflow.

A Figura 5 mostra a presença de mica moscovita no overflow do hidrociclone. Esse mineral é facilmente identificado devido ao seu hábito lamelar, e o detalhe na micrografia a mica encontra-se junto com as partículas de caulinita.

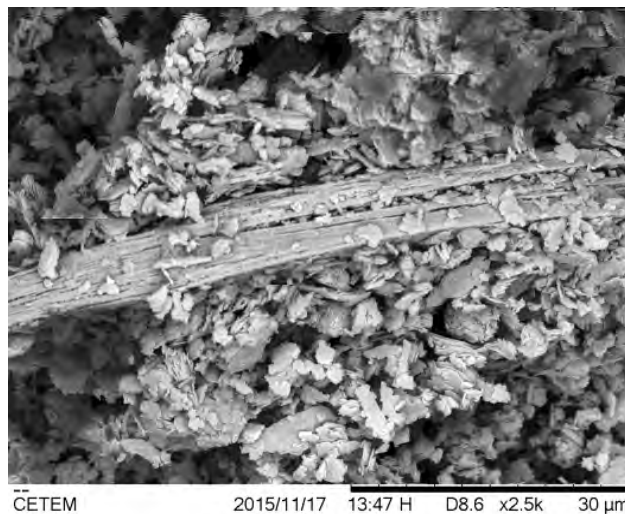


Figura 5 – Micrografia mostrando detalhe da presença de mica, detectada no *overflow* do hidrociclone.

Esse resultado demonstra as limitações do processo de classificação pelo hidrociclone, o qual poderia ser otimizado pelo ajuste dos parâmetros de controle do equipamento bem como pela inserção de etapas adicionais de ciclonagem, para processar tanto o overflow (Figura 5) quanto o underflow, respectivamente.

5. CONCLUSÕES

A partir desses resultados pode-se concluir que a avaliação dos produtos obtidos no processo de ciclonagem, através das curvas de frequência acumulada, permitiram constatar que realmente ocorre uma classificação por granulometria do caulim. No entanto, estudos mais detalhados precisam ser realizados, com base nesses resultados, com o intuito de mensurar a eficiência do hidrociclone por meio de curvas de partição.

Os resultados de DRX determinaram a presença de diversos minerais no caulim. Além da caulinita, mineral de interesse na região do Junco do Seridó/PB e Equador/RN, foi detectada a presença de outros minerais como quartzo, moscovita e feldspato.

As imagens do microscópio eletrônico mostraram, que embora qualitativamente existir uma quantidade de caulim em todos os produtos, além do overflow também no underflow. Essas perdas de caulinita podem ser diminuídas inserindo um ajuste dos parâmetros de controle do equipamento, bem como processando por separado, ambos os produtos, de forma aumentar a eficiência da classificação.

6. AGRADECIMENTOS

Ao Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovação – MCTI pelo apoio financeiro concedido através do Programa de Entidades Associadas CETEM/UFCG. Ao CETEM pelo apoio na utilização de laboratórios e equipamentos. ao Dr. Luiz Carlos Bertolino pelo auxílio na realização de ensaios analíticos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRISTOW, C. M. (1987b). **World Kaolins: genesis, exploitation and application**. Industrial Minerals, July, p. 45-87.

COSTA, C. F. M., NEVES, G. A., LIMA SANTANA, L. N. e SOBRAL CARTAXO, F. (1997). **Caracterização e propriedades de argilas para uso em cerâmica branca dos estados da Paraíba e do Piauí**. In: 41 Congresso Brasileiro de Cerâmica, vol. 2, p. 713-716.

COUTO, H.J.B.; NUNES, D.G.; NEUMANN, R.; FRANÇA, S.C.A. Micro-bubble size distribution measurements by laser diffraction technique. **Minerals Engineering**, 22, p. 330-335, 2009.

DI STEFANO, C.; FERRO, V.; MIRABILE S. **Comparison between grain-size analyses using laser diffraction and sedimentation methods**. Biosystems Engineering, 106, p. 205-215, 2010.

BEUSELINCK, L., GOVERS, G., POESEN, J., DEGRAER, G., AND FROYEN, L.: **Grain-size analysis by laser diffractometry: comparison with the sieve-pipette method**, Catena, 32, 193–208, 1998.

GRIM, R. E. (1958). **Clay Mineralogy**. New York: McGraw-Hill, (Geological Science Series), p. 29.

LUZ, A. B., CAMPOS, A. R., CARVALHO, E. A., BERTOLINO, L. C. **Caulim - Usos e Especificações**. In: LUZ A. B. e LINS F. F (eds) Rochas e Minerais Industriais. 2º ed. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Centro de Tecnologia Mineral, 2005, p. 255-289.

MELO JÚNIOR, A. S. **Análise quantitativa do material particulado na região de Campinas através das técnicas de microfluorescência de raios-X e reflexão total usando radiação síncrotron**. Tese (Doutorado em Química) - Unicamp, Campinas, São Paulo, 2007.

MONTE, M. B. M.; CARVALHO, E. A.; FERREIRA, O. e CABO. S. S. (2001). **Caulim CADAM**. In: **Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil**, Editores: João A. Sampaio, Adão B. da Luz e Fernando F. Lins, 398p, CETEM/MCT, p. 9-23.

SILVA, F. A. N. G. **Estudos de Caracterização Tecnológica e Beneficiamento do Caulim da Região Borborema-Seridó (RN)**. 2007. Dissertação (Mestrado) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (Brasil).

SILVA, M. R. R., DANTAS, J. R. A., 1997, “Província pegmatítica da Borborema-Seridó, Paraíba e Rio Grande do Norte”. In: DNPM/CPRM (eds) **Principais Depósitos Minerais do Brasil**, 1 ed., v. 4b, Brasília, Brasil, Departamento Nacional de Produção Mineral.

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO REJEITO PROVENIENTE DO BENEFICIAMENTO DE MOSCOVITA

Ailma R.S. Medeiros¹, Ligia M. Gonzaga², Renan N. R. da Rocha³, José Ramilson S. Oliveira⁴

¹ Professora, IFPB, Coordenação de Mineração/Campus Picuí

² Professora, IFRN, Coordenação de Mineração/Campus Parelhas

³ Técnico de Laboratório, IFPB, Coordenação de Mineração/Campus Picuí

⁴ Técnico de Mineração, Bentonit União do Nordeste (BUN)

e-mail: ailma.engminas@gmail.com

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a caracterização do rejeito do processamento de moscovita oriundo da província pegmatítica da Borborema-Seridó nos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte. A empresa de mineração Bentonit União do Nordeste – BUN beneficia a moscovita, variedade de mica comumente encontrada na região do Seridó. O beneficiamento dessa substância proveniente dos pegmatitos gera um grande quantitativo de rejeito o que atualmente é um enorme passivo ambiental. Neste contexto, a caracterização desses rejeitos será feita de modo a avaliar alternativas para sua utilização, como também a estruturação de um banco de dados para análise físico-química dos materiais e possíveis tecnologias que poderiam ser adotadas para sua utilização como material alternativo. As amostras de moscovita coletadas nas pilhas de rejeito passaram por uma caracterização física, química e mineralógica, através das técnicas de difração de raios-X (DRX), determinação da distribuição granulométrica por peneiramento e análise da composição química através fluorescência de raios X (FRX). Os ensaios de análise granulométrica mostraram que a porcentagem retida acumulada na malha de 38 µm foi de aproximadamente 80%, enquanto que o passante foi de 20%. Os resultados de análise química mostraram os teores dos elementos principais da composição dos pegmatitos, dentro dos padrões, o que pode ser confirmado através da difratometria de raios-X, onde foram identificadas as principais fases minerais presentes na amostra, como quartzo, moscovita, albita, leucita e hematita.

PALAVRAS-CHAVE: caracterização, rejeito, moscovita.

ABSTRACT

This work has as objective the characterization of tailings from the processing of Muscovite from the province of pegmatítica- Borborema-Seridó in the States of Paraíba and Rio Grande do Norte. The mining company Bentonit União do Nordeste - BUN the Muscovite mica variety commonly found in the Seridó region. The processing of this substance from pegmatites generates a large quantity of reject what currently is a huge environmental liability. In this context, the characterization of these tailings will be made in order to evaluate alternatives to their use, as well as structuring a database for physical and chemical analysis of the materials and technologies that could be adopted for use as alternative material. Samples of Muscovite collected in piles of tailings underwent a physical, chemical and mineralogical characterization, through the techniques of x-ray diffraction (DRX), determination of particle size distribution by sieving and chemical composition analysis by x-ray fluorescence (FRX). Particle size analysis tests showed that the percentage retained accumulated in 38 μm mesh was approximately 80%, while the passante was 20%. The results of chemical analysis showed the levels of the main elements of the composition of the pegmatites, within the standards, which can be confirmed by x-ray diffractometry, x-ray where were identified the main mineral phases present in the sample, as quartz, muscovite, albite, leucite and hematite.

KEYWORDS: characterization, reject, Muscovite

1. INTRODUÇÃO

Assim como na maioria dos setores econômicos, a indústria mineral enfrenta um dos maiores e mais difíceis desafios do segmento: o desenvolvimento sustentável. Além disto, segundo Barreto (2001, *apud* SILVA *et al.* 2012, p. 16), a mineração tem um equacionamento diferenciado em relação à questão ambiental, devido às substâncias minerais serem recursos não renováveis e incorporados no processo produtivo. Como esta incorporação não é perfeita, a geração de resíduos no decorrer do processo emerge como uma externalidade.

Para Azapagic (2004, *apud* ROCHA *et al.* 2013, p. 229), os minerais são essenciais para a vida cotidiana, pois se transformam em numerosos produtos utilizados pela população e constituem matérias-primas essenciais em um grande número de indústrias. Por outro lado, a extração e o processamento destes minerais estão associados a uma série de impactos socioambientais, que precisam ser gerenciados a fim de que o setor desenvolva-se de forma sustentável, uma vez que, afeta diretamente sob a questão de degradação do meio, assim como, de forma mais indireta no tocante ao acúmulo de materiais provenientes das plantas de beneficiamento e do mecanismo de lavra aplicado.

Dentro do panorama apresentado, a aplicação dos rejeitos industriais como materiais alternativos surgem como tendência, de forma que, tem sido bem sucedida em diversos países do mundo. Baseado na literatura de Menezes (2002), podemos destacar dois dos principais fatores que levam os países a reciclarem seus rejeitos: primeiro, o esgotamento das reservas de materiais confiáveis, e segundo, o crescente volume de resíduos sólidos, que põem em risco a saúde pública, ocupa o espaço e degradam o meio ambiente.

A muscovita ($\text{KA}l_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}](\text{OH},\text{F}_2)$), além de ser uma das mais comuns variedades de mica, devido ao fato de ocorrer em uma grande variedade de ambientes geológicos, também possui o maior número de usos industriais, como na indústria de eletroeletrônicos, na produção de pigmentos, cosméticos, tubos de vácuo, dentre outros, devido as suas propriedades como: perfeita clivagem no plano basal, plasticidade, baixa condutividade térmica e elétrica, resistência a mudanças abruptas de temperaturas, brilho vítreo entre outros (SANTOS *et al.* 2010; BALTAR *et al.* 2008). No Brasil, seus principais depósitos encontram-se localizados nos estados da Bahia, Ceará, Espírito Santo, São Paulo, Rio Janeiro, Santa Catarina, Minas Gerais, Paraíba e Rio Grande do Norte (VALDEVIEZO; SILVA, 2010, p. 56), nestes dois últimos ocorrem regulamente na província pegmatítica da Borborema, localizada no lado ocidental do Planalto da Borborema e na região do

Seridó, entre os dois estados (BEZERRA; CARVALHO, 1997), possuindo grandes reservas de pegmatitos com elevados teores de caulim, feldspato, quartzo e mica. Estes minerais abastecem muitas indústrias cerâmicas, contudo são também exportados em quantidade significativa (LUZ *et al*, 2003; SANTOS *et al* 2007 apud SANTOS *et al*. 2010, p. 164).

Segundo BALTAR (2008), a lavra de moscovita na região é realizada, principalmente, durante as estiagens, quando se torna atividade de subsistência de muitos sertanejos. Em razão do pouco conhecimento técnico no garimpo, a moscovita obtida possui baixo valor agregado, além de que não existem na região, empresas especializadas no beneficiamento deste mineral, gerando portanto, um grande montante de rejeitos provenientes da atividade.

Para a verificação da possibilidade do aproveitamento destes rejeitos, faz-se necessária a caracterização tecnológica dos mesmos (caracterização mineralógica), granulométrica, química e ensaios tecnológicos específicos para um determinado emprego, visto que, esta é uma etapa fundamental para o máximo aproveitamento de um recurso mineral, pois se trata de um ramo especializado aplicável em qualquer etapa da mineração. No beneficiamento mineral a caracterização abrange aspectos físicos, químicos, mineralógicos, texturais, estruturais e respostas às operações unitárias.

Neste contexto este trabalho apresenta a caracterização tecnológica do rejeito gerado pelo beneficiamento dos pegmatitos provenientes dos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, visando sua eventual aplicação na indústria, bem como gerar subsídios para potenciais aplicações comerciais do mineral para fins nobres, ou seja, obtenção de produtos com maior valor agregado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A amostra utilizada neste trabalho foi proveniente das pilhas de rejeito resultante do processamento do material denominado mica Murrão (Figura 1), da empresa Bentonit União do Nordeste – BUN/PL, extraída de jazidas localizada na província pegmatítica do estado da Paraíba e do Rio Grande do Norte.

A primeira etapa do trabalho incluiu a caracterização detalhada da amostra, de modo a nos auxiliar nas etapas subsequentes. A Figura 2 apresenta o fluxograma com etapas envolvidas na preparação de cada amostra para ensaios e análises. As amostras de rejeito foram britadas em laboratório, usando britadores de mandíbulas e cônicos de forma estagiada (< 300 µm) a fim de minimizar a geração de finos.



Figura 1 - Foto da mica Murrão.

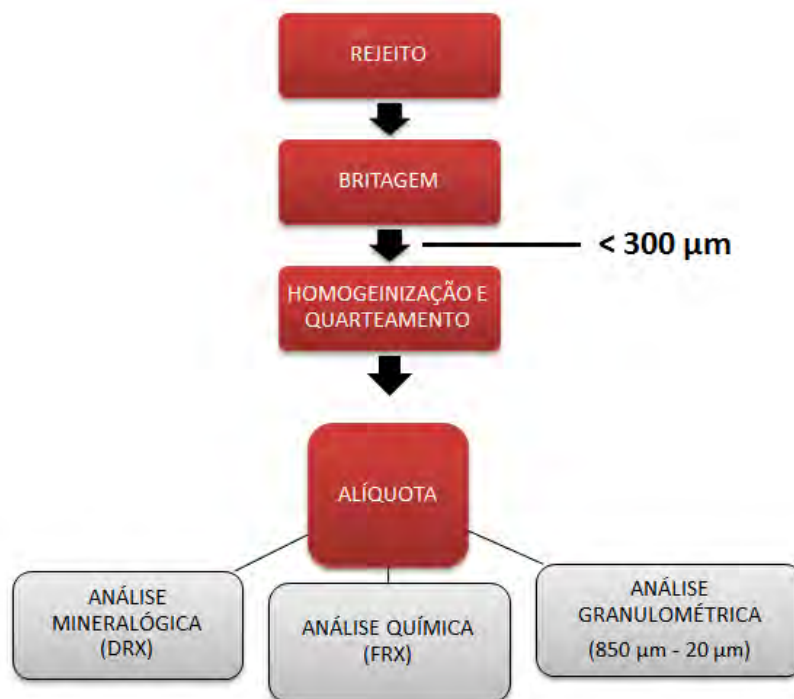


Figura 2 - Fluxograma do processamento das amostras.

A fim de analisar a distribuição granulométrica foram utilizados ensaios de peneiramento, sendo utilizadas as seguintes malhas de peneiramento (μm): 300; 210; 150; 75; 45; e 38. Análises químicas por espectrometria de fluorescência de raios-X foram realizadas no equipamento da Shimadzu (EDX-720). As análises por difratometria de raios-X foram realizadas usando o método do pó no equipamento Bruker-D4 Endeavor.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análises Granulométricas

Os resultados de medida da distribuição granulométrica da amostra global para a amostra estudada é mostrada na Figura 3, onde se observa que 40% de partículas estão acima de 150 μm e 20% de partículas passantes na malha de 38 μm .

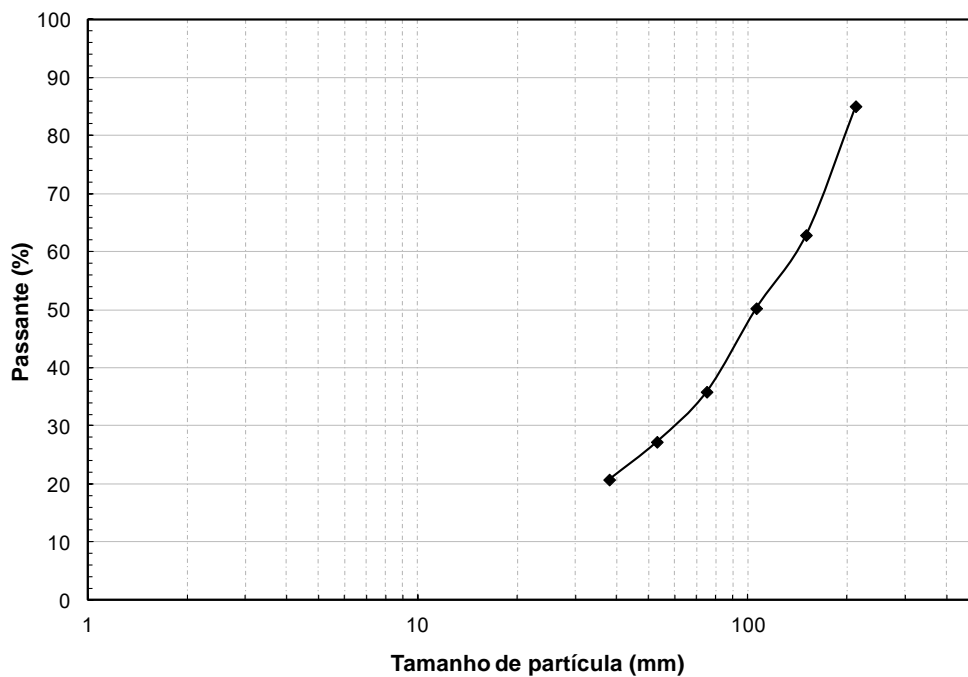


Figura 3 - Distribuição granulométrica.

3.2 Análise Química

A análise granuloquímica da amostra é apresentada na Figura 4. A análise química mostrou que os teores dos principais elementos presentes na amostra, estão dentro dos padrões, visto que a amostra é resultante do beneficiamento da moscovita proveniente dos pegmatitos. É evidente a predominância de SiO_2 com teor médio de 68% em todas as frações analisadas e destaca-se também o aumento no teor de Fe_2O_3 na fração $<38 \mu\text{m}$.

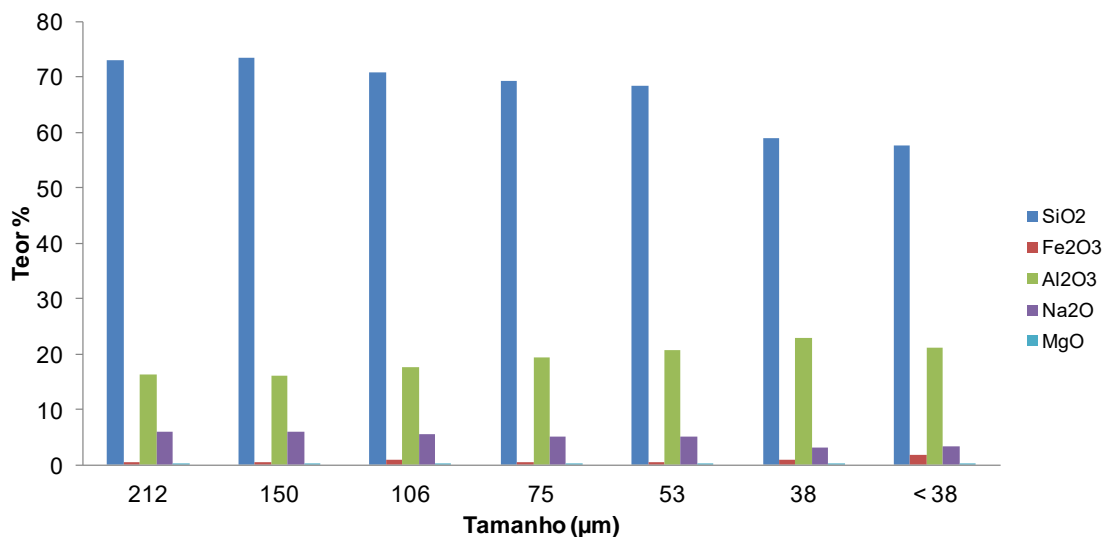


Figura 4 - Teores dos principais constituintes por fração granulométrica.

3.3 Identificação dos Minerais: Difractometria de Raios-X

A difratometria de raios-X (DRX) permitiu a identificação das espécies minerais presentes na amostra estudada. As principais fases minerais presentes foram: quartzo, moscovita e albita, como esperado para esse tipo de minério. A Figura 5 sintetiza as análises quantitativas, utilizando o método de Rietveld.

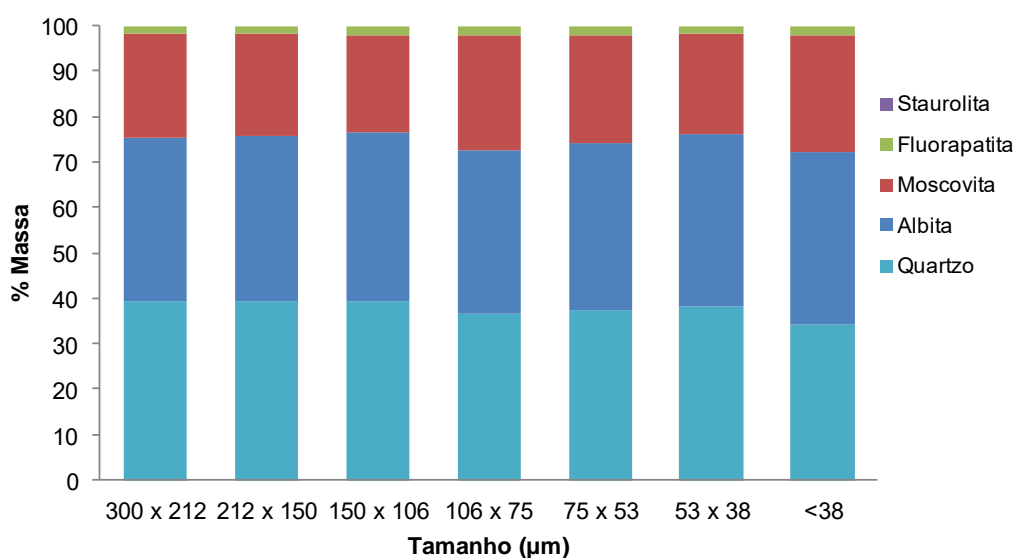


Figura 5 - Análise quantitativa das fases presentes nas alíquotas referentes às várias frações analisadas.

4. CONCLUSÕES

Os resultados oriundos da caracterização tecnológica realizada na amostra em estudo, que envolveram a caracterização física, química e mineralógica, permitiram chegar às seguintes conclusões:

Os resultados da análise química mostraram que os teores dos elementos principais da composição dos pegmatitos encontram-se dentro dos valores atribuídos preestabelecidos para a mica natural, o teor de ferro foi encontrado dentro do valor (médio 0,8%) estabelecido para alguns usos na indústria.

A análise granulométrica observou-se que 40% de partículas estão acima de 150 μm e 20% de partículas passantes na malha de 38 μm .

A difratometria de raios-X mostrou os principais componentes mineralógicos da amostra, quartzo, moscovita, albita, leucita como era de se esperar.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALTAR, C. A. M.; SAMPAIO, J. A.; CAVALCANTE, P. M. T. Mica. In: **Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações**, n. 2, Adão B. Luz e Fernando Lins (Editores), v. 1, p. 648-661, CETEM/MCT, 2008.

BEZERRA, M. S.; CARVALHO, V. G. D. Minerais e Rochas Industriais da Região do Seridó - PB/RN. **CPRM – Serviço Geológico do Brasil**. Recife, p. 1-31, 1997. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/8866/rel_minerais_rochas_industriais_serido.pdf?sesequen=1>. Acesso em: 7 fev. 2016.

FRANCO, L. C.; SANTOS, D. H.; ROSA, P. P. G.; SILVA, G. J. B.; PEIXOTO, R. F. Aplicação de rejeito de mineração como agregado para a produção de concreto. In: 56º Congresso Brasileiro de Concreto, out. 2014. **Anais do 56º Congresso Brasileiro de Concreto**. Natal, 2014. p. 1-15.

ROCHA, A. C.; CAMARGO, C. R.; KNEIPP, J. M.; ÁVILA, L. V.; GOMES, C. M.; MADRUGA, L. R. R. G. Gestão para a sustentabilidade na indústria mineral: um levantamento da produção científica e dos hot topics publicados na última década. **Revista Estudos do CEPE**, Santa Cruz do Sul, n. 36, p. 228-

251, jul./dez. 2012. Disponível em: <
<http://online.unisc.br/seer/index.php/cepe/article/view/3119>>. Acesso em: 13 fev. 2016.

SANTOS, S.F.; FRANÇA, S.C.A.; OGASAWARA, T. Beneficiamento de mica da região Borborema-Seridó. In: II Simpósio de minerais industriais do Nordeste, nov. 2010. **Anais do II Simpósio de minerais industriais do Nordeste**. Campina Grande, 2010. p. 163-172.

SILVA, A. P. M.; VIANA, J. P.; CAVALCANTE, A. L. B. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração de Substâncias Não Energéticas** - Relatório de Pesquisa. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, p. 9, 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120814_relatorio_atividati_mineracao.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2016.

VALDEVIEZO, E. V.; SILVA, E. E. P. Caracterização do rejeito de beneficiamento de mica da Paraíba objetivando a fabricação de cosméticos. **Ambiente Mineral – Revista brasileira de Mineração e Meio Ambiente**. Campina Grande, n. 1, p. 55-61, dez. 2010. Disponível em: <<http://www.dmg.ufcg.edu.br/ambientemineral/ed1/artigo5.htm>>. Acesso em: 7 fev. 2016.

VIEIRA, E. A. A (in) sustentabilidade da indústria da mineração no Brasil. **Estação Científica – UNIFAP**. Macapá 2011, v. 1, n. 2, p. 01-15.

USO DO GRANITO NA COMPOSIÇÃO DA MASSA PARA REVESTIMENTO CERÂMICO

Dante de Lima Fernandes¹, Marcondes Mendes de Souza², Luiz Felipe Pereira de Medeiros Nóbrega³

¹ Estudante, IFRN - Campus Natal Central

² Dr. professor, IFRN – Campus Natal Central

³ Estudante, IFRN - Campus Natal Central

dantedelimafernandes@hotmail.com

RESUMO

Atualmente há uma grande preocupação com relação à sustentabilidade, prova disso é o crescimento do reuso de materiais considerados inutilizáveis. No IFRN/Campus Natal Central está havendo uma reforma nas garagens dos ônibus, produzindo assim rejeitos de granito. Visando a diminuição de resíduos, que poderiam poluir ainda mais o meio ambiente, assim como a redução de exploração de jazidas de quartzo e feldspato, componentes amplamente utilizados para esses fins, foi-se introduzido esse material na massa para revestimento cerâmico. Para tanto, foram feitas formulações substituindo parte do feldspato e do quartzo, todos em 200# (mesh), já que a composição química do granito é semelhante. O material foi misturado, prensado, posto na estufa para perca da água do processo, e as peças foram ao forno mufla em diferentes temperaturas para comparação de resultados. Com os corpos de prova já prontos, foram realizados ensaios físicos para determinação da melhor formulação com uso de rejeito de granito dessa obra na confecção de peças cerâmicas para grés porcelanato.

PALAVRAS-CHAVE: Granito, reuso, porcelanato;

ABSTRACT

There is currently a major concern with regard to sustainability; proof of this is the growth of reuse of materials considered unusable. In IFRN / Campus Natal – Center, there has been a reform in the garage of buses, thus producing granite waste. Aiming to reduce waste that could pollute even more the environment, as well as the operation of reducing quartz deposits and feldspar, widely used components for these purposes, this material was introduced in mass for ceramic coating. For this, formulations were made by replacing part of feldspar and quartz, all in 200 # (mesh), as granite has similar chemical composition. The material was mixed, pressed, put in the oven for process water waste, and the pieces were to muffle furnace at different temperatures to compare results. With the specimens ready, they were carried out physical tests to determine the best formulation with use of waste granite that work in the production of ceramic parts for porcelain stoneware.

KEYWORDS: Granite, reuse, porcelain;

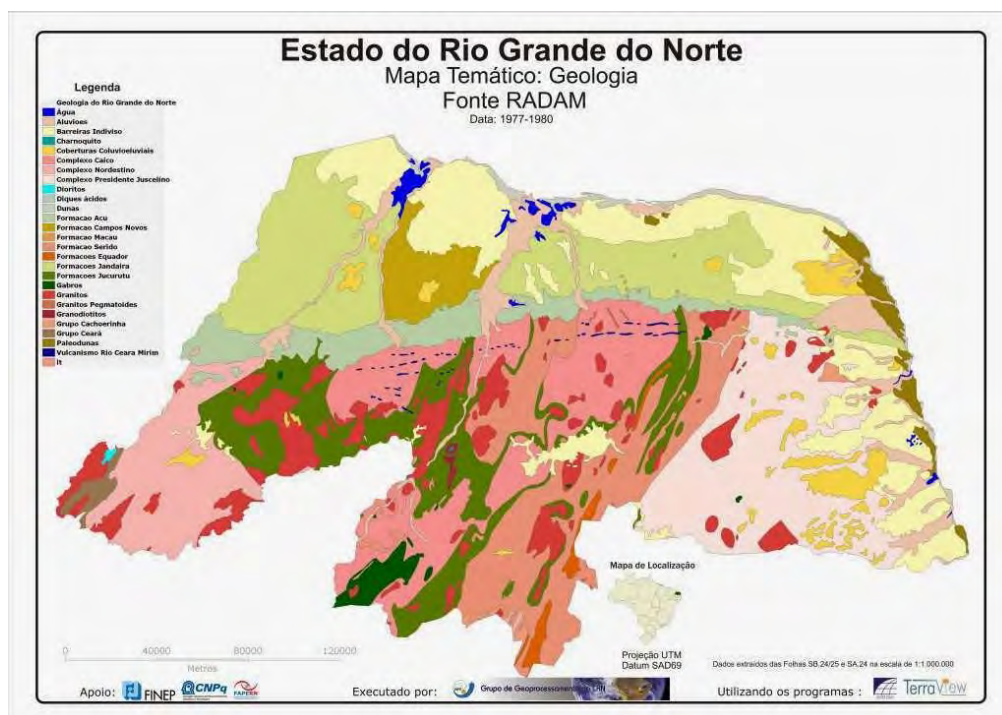
1. INTRODUÇÃO

O granito é uma rocha ígnea intrusiva, composta majoritariamente pelos minerais: quartzo, feldspato e mica. É vastamente explorado para uso na construção civil e cerâmica, destacando a brita e o cascalho. Estes são materiais granulares naturais que, produzidos pela indústria extrativa mineral, caracterizam-se por apresentar dimensões e propriedades físicas, químicas e tecnológicas adequadas para uso como agregado graúdo na indústria da construção. Estes agregados têm a função de conferir resistência, durabilidade e trabalhabilidade aos concretos, em suas várias especificações (01).

No estado do Rio Grande do Norte, o escudo cristalino atravessa praticamente toda a região central do estado, se alastrando por toda a província pegmatítica da Borborema. Sua

diversidade é imensa, já que abriga desde granitos pegmatoides até granodioritos, também tendo áreas ricas em gabros. Exatamente por essa riqueza, no escudo cristalino norte rio-grandense existem diversas empresas que exploram principalmente o granito para uso na construção civil, como por exemplo, como brita, fonte da pesquisa nesse trabalho.

Figura 1. Mapa geológico do estado do Rio Grande do Norte



O granito é de grande importância para a economia nacional, sendo responsável por 2,8% da arrecadação de CFEM do primeiro semestre do ano de 2014. Além disso, nesse mesmo período foi a principal substância outorgada para autorizações de pesquisa, juntamente com a areia e a argila (2).

1.1 OBJETIVOS

Paralelo à grande exploração do granito no estado e também do Brasil, essa última atingindo 304 milhões de toneladas no ano de 2013 (2), também há grandes quantidades de rejeito. Portanto, com o intuito de diminuir os impactos ambientais gerados pelo descarte de granito numa obra de reforma do IFRN – Campus Natal (Central), este trabalho visa a utilização desse material como componente da massa cerâmica para revestimento, substituindo parte do granito e do feldspato da formulação, visto que granito possui ambos os minerais em sua composição mineralógica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O granito foi coletado da obra em forma de brita e moído até atingir a granulometria de 200# (mesh), sendo utilizado para tal processo um britador de mandíbula e um moinho de bolas. Após isso foram feitas três formulações para a massa cerâmica com o granito, como se segue na tabela:

Tabela 1. Formulações com uso do granito (Elaborado pelo autor)

	Formulação 01	Formulação 02	Formulação 03
Quartzo	10%	10%	5%
Feldspato	45%	40%	35%
Argila	40%	40%	40%
Granito	5 %	10%	20%
Água *	10%	10%	10%

*A água se perde no decorrer do processo.

O quartzo, feldspato, argila, e o granito foram extraídos da mina Pedra Redondos, situados no município de Equador – RN, e beneficiado pela empresa ARMIL Mineração. Passaram por um processo de cominuição, onde foram britados e peneirados até atingir a granulometria de 200# (mesh), com torre de 4 peneiras, tendo 60 mesh, 120 mesh, 160 e finalmente 200 mesh. Foi-se utilizado agitador com frequência 15 com o intuito de acelerar o processo de passagem dos materiais citados.

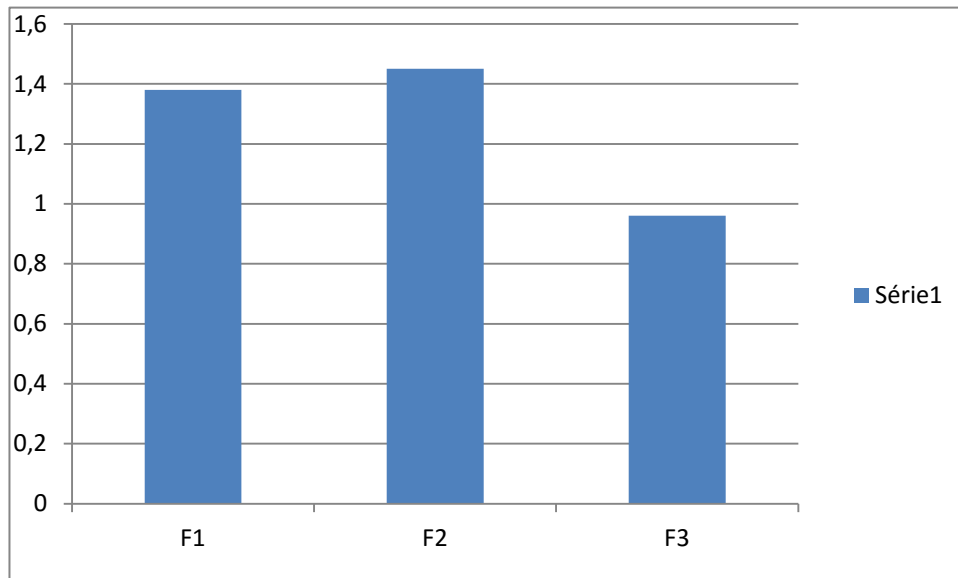
Após a mistura dos componentes, a massa passou por um período de descanso de 24 horas para poder ser prensada a 2.5 toneladas. Depois as peças foram direcionadas à estufa para perder toda a água adquirida no processo, só assim foram ao forno mufla numa temperatura de 1200°C e num ciclo de queima de 60 minutos.

Com as amostras já sinterizadas, foram feitos ensaios físicos para a determinação da melhor formulação para o grés porcelanato. O teste consistia em imergir a peça em um recipiente com água e após retirar realizar a pesagem em uma balança de precisão para assim calcular a sua absorção de água, ou seja, a porcentagem de massa adquirida no processo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após os ensaios feitos com as amostras, verificou-se que a terceira formulação se mostrou mais eficiente quanto à absorção de água. Como se pode ver na tabela abaixo, a absorção média das peças foi de menos de 1%, o que é um ótimo para a utilização como grés, já que de acordo com a NBR 13818, a absorção de água para uso como cerâmica para revestimento deve ser maior que 0.5% e menor que 3%.

Gráfico 1. Média de absorção de água das amostras



Isso se deve ao fato de que o granito utilizado é rico em feldspato, componente fundente da massa, responsável por preencher possíveis poros que prejudicariam o resultado final. Além disso, o granito usado também é pobre em ferro, o que é um fator bom para a utilização como grés, já que a presença deste elemento diminui o ponto de fusão da peça, além do ferro ficar concentrado no produto final, o que atrapalha a comercialização do mesmo.

4. CONCLUSÃO

Pelo ensaio físico de absorção de água, pode-se concluir que o granito utilizado pode ser utilizado na massa cerâmica, se encaixando como cerâmica para revestimento. Apesar da sua boa absorção de água, principalmente da terceira formulação, pela mineralogia do granito as peças acabaram ficando com a coloração mais escura, o que não é aconselhado para as peças para revestimento pela questão estética. Portanto, é aconselhável que para um próximo trabalho se adicione caulim na formulação, fazendo assim com que as peças sejam esteticamente favoráveis. De maneira geral, é uma boa possibilidade de reutilizar o rejeito de granito, que existe em abundância, dando assim uma solução sustentável para este, além de ajudar na diminuição da exploração de jazidas de quartzo e feldspato, amplamente usados no setor cerâmico.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(2) Informe Mineral 2015 – 1º Semestre, desenvolvido pelo DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral/Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/informes/informe-mineral-2015-1o-semester>> Acesso em 25/02/2016.

INMETRO. Revestimento e pisos cerâmicos. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/revestimentos.asp>> Acesso em: 05/03/2016

MENEZES, R. R.; FERREIRA, H.S.; NEVES, G. de A.; FERREIRA, H. C. Uso de rejeitos de granitos como matérias-primas cerâmicas. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v48n306/10685.pdf>> Acesso em: 26/02/2016.

NBR 13818/1997 – Placas Cerâmicas para Revestimento – Especificação e Métodos de Ensaio, desenvolvido pelo DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. Disponível em: <<http://docslide.com.br/documents/nbr-13818-1997-placas-ceramicas-para-revestimento-especificacao-e-metodos.html>> Acesso em 20/02/2016.

(1) Brita e cascalho – Sumário Mineral 2014, desenvolvido pelo DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral/Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/brita-e-cascalho-sumario-mineral-2014>> Acesso em: 29/02/2016.

PARAMETROS TECNOLÓGICOS DOS MINERAIS INDUSTRIAIS IDENTIFICADOS NOS REJEITOS DA MINA BODÓ - RN

Erica de Sousa Morais¹, Jakeline Pereira², Marcos Aurélio de Oliveira Maia³

¹ Estudante, IFRN

² Estudante, IFRN

³ Professor, IFRN

ericamoraisff@hotmail.com

RESUMO

Devido ao seu crescente avanço e a conseqüente degradação causada por suas atividades, o extrativismo mineral gera um acúmulo desordenado e excessivo em rejeitos, justamente por não existirem tecnologias viáveis e, em alguns casos, a falta de interesse por parte das mineradoras em transformá-los em subprodutos, sem falar na viabilidade econômica projetada pelas demandas de mercado. O objetivo desse trabalho é contribuir através da obtenção de parâmetros tecnológicos em resíduos minerais, coletados na Bodó Mineração – RN, que sinalizem um aproveitamento racional economicamente sustentável, utilizando tais produtos no cimento a ser usado na construção civil. Através de análises químicas (determinação FRX / DRX) de uma amostra padrão coletada na pilha principal do rejeito da mina, determinou-se o percentual de minerais que poderiam ser aproveitados. Os resultados gerados pelas análises e experimentos, indicam a viabilidade na utilização desses rejeitos na produção de cimento, argamassa e demais insumos que demandem derivados de compostos cálcicos.

PALAVRAS-CHAVE: bodó, mineração, rejeito.

ABSTRACT

Due to its increasing advancement and the consequent degradation caused by its activities, mineral extraction generates an inordinate and excessive accumulation of waste, just because there are no viable technologies and, in some cases, the lack of interest from mining companies in transforming them into by-products, without speaking the economic Viability Designed By Market Demands. The goal of this work is contribute through obtaining technological parameters in mineral waste, collected in the Bodó Mining – RN, which shows one rational use and economically sustainable, using these products in the manufacture of ceramic bulk. Through chemical analysis (determination FRX / DRX) of a standard sample collected in the main pile of mine waste, It was determined the percentage of minerals that could be available. The results generated by the analysis and experiments, indicate the viability of the use of such waste in production of cement, mortar and other inputs that demand derived from calcium-based compounds.

KEYWORDS: bodó, mining, reject.

1. INTRODUÇÃO

Durante uma aula de campo realizada com os alunos do Curso Técnico de Mineração do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN/CNAT à mina de Bodó localizada no município de Bodó – RN, altiplano seridoense que opera através de lavra subterrânea, o mineral minério de Tungstênio (scheelita), pôde-se observar uma grande quantidade de resíduos gerados pela atividade mineira, descartados à céu aberto, os quais, aparentemente não apresentam nenhum valor econômico, de uso ou mesmo destinação. No decorrer da visita técnica às instalações da mineradora foi coletada uma amostra de volume da pilha de rejeito do minério. A amostra após homogeneizada e quarteada, seguiu a rota tradicional de separação granulométrica, gerando alíquotas para ensaios químicos, dentre os quais a utilização da espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX), uma eficiente ferramenta na varredura dos compostos químicos que caracterizam a rocha minério. Os resultados analíticos obtidos, apresentam valores acima do background, em se tratando de rejeitos, especialmente de compostos, utilizados como insumos em materiais de uso na construção civil (cimento, argamassa,

tintas, etc). Esse estudo visa à identificação de minerais presentes nesse rejeito que possam ser aproveitados na produção de cimento Portland.

1.1 Potencial mineralógico presente no rejeito da mina bodó

A princípio observou-se que poderia utilizar o material para artefatos cerâmicos, já que os resultados da composição mineralógica desse rejeito sinalizavam um aproveitamento positivo quando incorporados à composição da massa cerâmica. Contudo, com o avanço da pesquisa, surgiu uma possibilidade mais viável para o aproveitamento desse material. A amostra recolhida foi submetida à uma moagem, afim de cominuir o material à uma granulometria de 200#, em seguida foram feitas análises de composição química de 5g deste material através do FRX. Subsequente aos resultados químicos, observou-se a presença de SiO₂, Fe₂O₃, CaO, Al₂O₃ ambos em abundância quando comparados às demais substâncias presentes na amostra.

1.2 Cimento *Portland*

É a denominação usada mundialmente para o material conhecido na construção civil como cimento. O cimento *Portland* é um “aglomerante hidráulico resultante da mistura de clínquer *Portland*, gesso e adições normalizadas finamente moídos. Sua elaboração é feita através dos seguintes materiais: calcário, argila, minério de ferro e gesso. Que são direcionados a diversas análises para que se alcance a composição química desejada. Tem vasta utilidade na construção civil empregado na produção de natas, pastas, argamassas, concretos e outros. (Portal ABCT, 2002).

1.2.1 Utilização dos minerais presentes no rejeito para fabricação de cimento *portland*

Mediante aos resultados dessas análises iniciais, pôde-se conjecturar que, depois de um processo de separação e beneficiamento dos compostos de interesse nesse rejeito, os quais compõem cerca de 93% da massa da amostra analisada, onde tais processos que poderão ser definidos por uma pesquisa futura, esses minerais poderão ser utilizados na formulação do

cimento *Portland*, resultando assim no aproveitamento desse material e conseqüentemente, amenizando os impactos ambientais ocasionados pela deposição e inutilização desses resíduos minerais.

2. FIGURAS



Figura 1 – Amostras do rejeito separadas por granulometria (Elaboração dos autores)

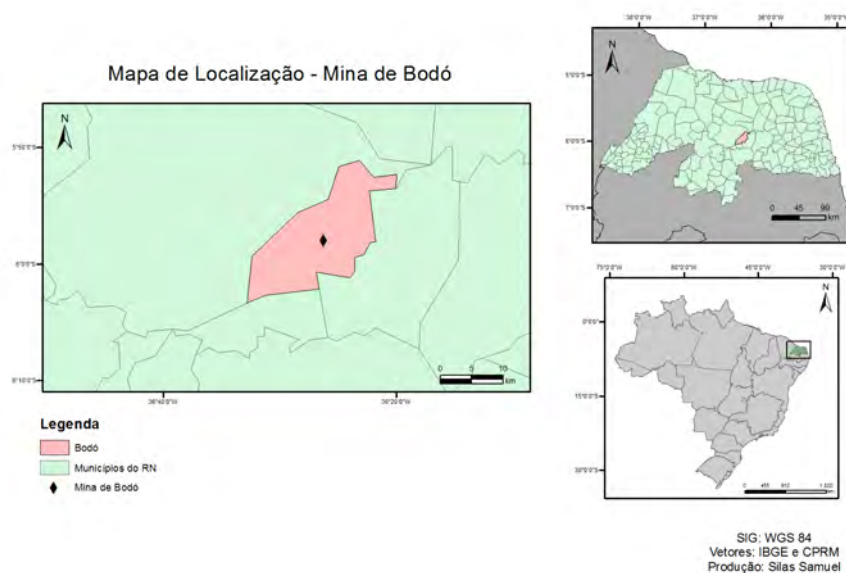


Figura 2 – Mapa de localização da mina bodó (IFRN, 2016)

3. TABELAS

Compostos	%
SiO ₂	41,253

Tabela 1. Determinação por FRX da amostra do rejeito (IFRN, 2016)

Fe ₂ O ₃	20,975
CaO	20,582
Al ₂ O ₃	10,219
K ₂ O	3,217
TiO ₂	1,506
MnO	0,693
WO ₃	0,526
BaO	0,504
SO ₃	0,18
ZrO ₂	0,143
SrO	0,088
ZnO	0,048
Rb ₂ O	0,041
Y ₂ O ₃	0,014
SeO ₂	0,012

Tabela 1. Determinação por FRX da amostra do rejeito (IFRN, 2016)

Constituinte	Formula química	Abreviatura
Silicato tricálcico	3CaO . SiO ₂	C3S
Silicato dicálcico	2CaO . SiO ₂	C2S
Aluminato tricálcico	3CaO . Al ₂ O ₃	C3A
Alumínio ferrita tetracálcica	4CaO . Al ₂ O ₃ . Fe ₂ O ₃	C4AF

Tabela 2. Composições típicas do cimento *Portland*

Tipo de Cimento	Designação ASTM C150	Composições (% em peso)*			
		C3S	C2S	C3A	C4AF
Normal	I	55	20	12	9
Aquecimento ligeiro na hidratação, moderada resistência aos sulfatos	II	45	30	7	12
Endurecimento rápido	III	65	10	12	8
Pequeno aquecimento por hidratação	IV	25	50	5	13

Tabela 3. Composições típicas do cimento *Portland*

Resistente aos sulfatos	V	40	35	3	14
-------------------------	---	----	----	---	----

Tabela 3. Composições típicas do cimento *Portland*

*As porcentagens restantes são de gesso e de compostos de pequeno teor, tais como: MgO, sulfatos alcalinos, etc.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho é uma caracterização inicial, que sinalizou um potencial mineralógico para aproveitamento desse resíduo na indústria da construção civil, ainda se faz necessário uma série de amostragens íntegras em vários pontos da pilha de rejeitos unidos a um estudo de viabilidade desse material, chegando assim à uma comprovação da potencialidade comercial deste rejeito.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO *PORTLAND*. **Guia básico de utilização do cimento *portland***. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106).

F. S. William, Javad Hashemi, 467 e 468p. Fundamentos de Engenharia e Ciência dos Materiais.

J. F. Young, I. Educ. Module Mater, Sci., 3:410 (1981), Com permissão de Journal of Materials Education, University Park, PA.

ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO E BENEFICIAMENTO DE RESÍDUO DE CAULIM

Kayrone M. Almeida¹, Francisco W.H.Vidal², Nuria F. Castro³,

¹Bolsista de Iniciação Científica –Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/ MCTI - Núcleo Regional do Espírito Santo - Rod. BR 482, Cachoeiro x Alegre – km 6,5, Morro Grande, S/N, 29311-970 Cachoeiro de Itapemirim - ES (Brasil)

^{2, 3} Coord. de Apoio Técnico às Micro e Pequenas Empresas - CATE/ Centro de Tecnologia Mineral CETEM/MCTI - Av. Pedro Calmon, 900, Cid. Universitária, 21941-908 Rio de Janeiro - RJ (Brasil)
kalmeida@cetem.gov.br

RESUMO

O caulim é um agregado mineral de coloração branca, granulometria fina, rico em material argiloso e com pouco teor de ferro, que possui ampla utilidade na indústria. A região do Seridó, situada no Nordeste brasileiro, nos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, é conhecida por sua vasta reserva de caulim oriunda de pegmatitos, e sua extração e beneficiamento. O processo de beneficiamento desse mineral gera anualmente em torno de 15 mil toneladas de resíduo que não é aproveitado. Estima-se que cerca de 75 % do caulim extraído é, de certa forma, desperdiçado, o que gera pilhas de resíduos que têm sido acumulados ao longo de mais de 50 anos de produção. Além do grande volume acumulado, esse resíduo gera impactos pela facilidade de ser suspenso no ar, quando seco. Assim, encontrar uma utilização para esse material torna-se essencial para mitigar esses impactos. Neste estudo, ainda em andamento, avalia-se, por um lado, a viabilidade de recuperação de parte do caulim ainda contido no resíduo produzido pelas empresas de beneficiamento e, por outro, a utilização do resíduo *in natura* na produção de materiais para a construção civil, principalmente como material pozolânico no cimento. Até agora foram feitos estudos de caracterização comparativa, para se verificar se o resíduo pode ter comportamento semelhante ao de materiais pozolânicos, com resultados interessantes, mas que requerem maior estudo. Na linha de se tentar obter uma melhor recuperação do caulim, foram feitos testes com hidrociclone. Os resultados, mesmo preliminares, parecem indicar a possibilidade de recuperação de uma quantidade significativa de caulim desse resíduo.

PALAVRAS-CHAVE: caulim, caracterização, aproveitamento de resíduos.

ABSTRACT

Kaolin is a mineral aggregate of white color, fine grained rich in clayey material and with low iron content, which has wide utility in industry. The Seridó region, located in northeastern Brazil, in the states of Paraíba and Rio Grande do Norte, is known for its vast reserves of kaolin from pegmatites and their extraction and processing. The mineral beneficiation process, annually, generates about 15 tons of waste that are of no use. It is estimated that about 75% of the mined kaolin is, in a way, wasted, which generates piles of waste that are being deposited in the courtyards of the companies for over 50 years of production. In addition to occupy large space in the yards of companies, when dry, the residue particles rise into the air, causing negative environmental impacts. Thus, finding a purpose for this material it is essential to mitigate these effects. In this sense, the research project evaluated the possible existence and viability of kaolin recovery still contained in the waste produced by the processing companies. We also studied the possibility, through the determination of the mineralogical constituents, chemical composition and granulometry of the residue, the use of waste in the production of materials for the construction industry, primarily as a pozzolanic material in cement. Preliminary results indicate that the particle size distribution, chemical and mineralogical residue are similar to the pozzolanic materials, and there is still a significant percentage of kaolin present in the residue can be recovered.

KEYWORDS: kaolin, characterization , waste used.

1. INTRODUÇÃO

O termo caulim é utilizado para denominar a rocha que contém a caulinita e o produto derivado do seu beneficiamento (LUZ *et al.*, 2005). “Caulim é uma rocha de granulometria fina, constituída de material argiloso, normalmente com baixo teor de ferro, de cor branca ou quase branca” (GRIM, 1958 *apud* LUZ *et al.*, *op. cit.*). Desde a antiguidade, o homem utiliza argilas para diversas aplicações. Minerais argilosos do grupo da caulinita quando ativados, possuem ampla aplicação em meio industrial (GUERRA *et al.*, 2006). Constantemente são descobertos novos usos. As principais aplicações do caulim são como agente de enchimento no preparo de papel e na composição das pastas cerâmicas (DNPM, 2009). Em 2013, a produção mundial do caulim foi de cerca de 37 milhões de toneladas, sendo o principal produtor o Uzbequistão com 19,0%, seguido

de EUA, com 16,0% e Alemanha, com 12,1%. Brasil ficou na 5ª posição com, aproximadamente, 5,7% da produção mundial (DNPM, 2014).

A região do Seridó, localizada no estado da Paraíba e Rio Grande do Norte, possui uma vasta reserva de caulim proveniente de pegmatitos. O beneficiamento do caulim é realizado por empresas da própria região. Aproximadamente 75% do caulim extraído são de certa forma, desperdiçados, o que gera pilhas de resíduos, finos e grosseiros — respectivamente denominados na região como “siri” e “sarrabulho” —, que são depositados nos pátios das empresas ocupando grande espaço (CASTRO, 2010). Além disso, quando secos, esses resíduos elevam partículas para o ar, causando impactos negativos ao ambiente. O estudo visa encontrar alternativas para minimizar os impactos ambientais causados pelas pilhas de resíduo depositadas nos pátios das empresas e produzir um composto com custo reduzido. Diante disso, avaliar a possibilidade de recuperação do caulim perdido no beneficiamento e analisar a possibilidade de aproveitamento do resíduo como material pozolânico, no setor da construção civil, são ações importantes para uma eficaz gestão financeira e ambiental.

2. OBJETIVO

Analisar a possível recuperação do caulim contido nas pilhas de resíduo das empresas de beneficiamento da região do Seridó para aplicação como carga em papel e também aproveitar o resíduo na construção civil, como aditivo em compostos de base de cimento, melhorando as características físicas desses materiais.

3. METODOLOGIA

Após pesquisa bibliográfica sobre o caulim, os depósitos do Seridó e suas aplicações industriais, foram coletados resíduos grosseiros denominados localmente de “sarrabulho”. A coleta foi feita em duas empresas de beneficiamento de caulim, JMS e JPR, ambas localizadas no município de Equador-RN. O resíduo, cerca de 60 kg em cada empresa, foi coletado com técnicas de amostragem de acordo com a norma ABNT NBR ISO 3082:2011. Em seguida, no Núcleo Regional do Espírito Santo do Centro de Tecnologia Mineral – NRES/CETEM foram identificadas e secadas em estufa a 70°C durante 24 horas. Após este processo foi feita a homogeneização seguida de quarteamento, assim separando o material em alíquotas para a caracterização.

Para determinação e classificação das partículas foram realizados ensaios de peneiramento e hidrociclone. O ciclone utilizado foi o Avaflex 1/1/2", com vortex de 1/1/2" e pressão exercida de 10psi por 30s. O tamanho do resíduo classificado era abaixo de 841µm.

A análise química foi feita através de fluorescência de raio X, as amostras foram preparadas em prensa automática VANEON (molde de 20 mm, P = 20ton e t = 30s), utilizando como aglomerante ácido bórico (H₃BO₃) na proporção de 1:0,3 - 0,6 g do ácido e 2 g da amostra seca à 100°C. Os resultados semiquantitativos estão expressos em %, calculados como óxidos normalizados a 100%.

A mineralogia foi estabelecida por difração de raio X em equipamento Bruker-D4 Endeavor, isso nas seguintes condições de operação: radiação CoK 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 sensível à posição LynxEye.

Por ultimo foram feitos ensaios de alvura e análise química com os produtos da ciclonagem. O resíduo ensaiado está na faixa granulométrica abaixo de 841µm. A química foi estabelecida a partir de fluorescência de raio X com os produtos do underflow e overflow. Para o teste de alvura foram usados o resíduo da alimentação e os produtos do underflow e overflow. Para identificar o índice de alvura foi preparada uma pastilha de 5 g contendo o resíduo e colocado no colorímetro para indicar a sua porcentagem. O ensaio de ciclonagem e teste de alvura foi apenas com o resíduo da empresa JPR.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resíduos de caulim analisados resultaram ter ainda presente um percentual significativo de caulim que possivelmente possa ser beneficiamento. O resíduo também apresentou características semelhantes a materiais pozolânicos em granulometria e composição conforme detalhado a seguir.

4.1 Análise química FRX

Analisando a Tabela 1, verifica-se que a soma dos teores de SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ é superior a 70%, o que atende ao mínimo requerido na ABNT NBR 12653:1992 para que um material seja pozolânico.

Tabela 1. Resultado da fluorescência de raios-X das empresas JM Silva e JPR

Identificação	Na ₂ O %	MgO %	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	K ₂ O %	Fe ₂ O ₃ %
JM Silva	0,28	0,35	18,90	75,40	1,80	0,38
JPR	0,26	0,34	19,40	75,70	2,10	0,36

4.2 Análise granulométrica

A distribuição granulométrica indicou um resultado satisfatório. De acordo com a NBR 12653 (ABNT,1992), para ser considerado pozolânico o material deve apresentar uma máxima de 34% de massa retida na peneira de 45 μ m, as empresas JMS (figura 1) e JPR (figura 2) mostraram um percentual respectivo de 2,34% e 0,40%. Portanto, o resíduo possui característica granulométrica de acordo com a norma.

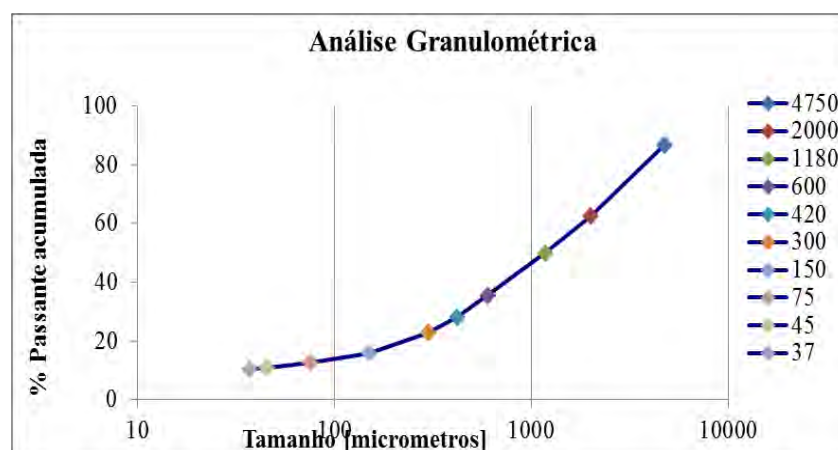


Figura 1 - Representação gráfica referente à análise granulométrica do resíduo de caulim, empresa JMS

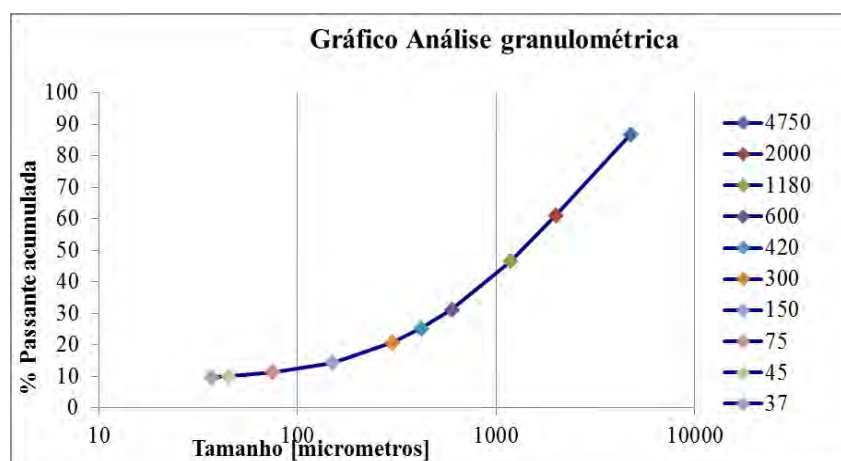


Figura 2 - Representação gráfica referente à análise granulométrica do resíduo de caulim, empresa JPR

4.3 Classificação mineralógica DRX

O resultado do DRX (figuras 3 e 4) apresentou os minerais de quartzo, muscovita, microclima e caulinita. Segundo Menezes (2009, p. 798), caso o K₂O venha de feldspato ou mica não interfere na aplicação como composto, pois estará imobilizado na estrutura desses minerais. Isso mostrou que o K₂O presente no resultado do FRX (tabela 1) não interfere quimicamente a utilização do resíduo em futuras aplicações do material como composto.

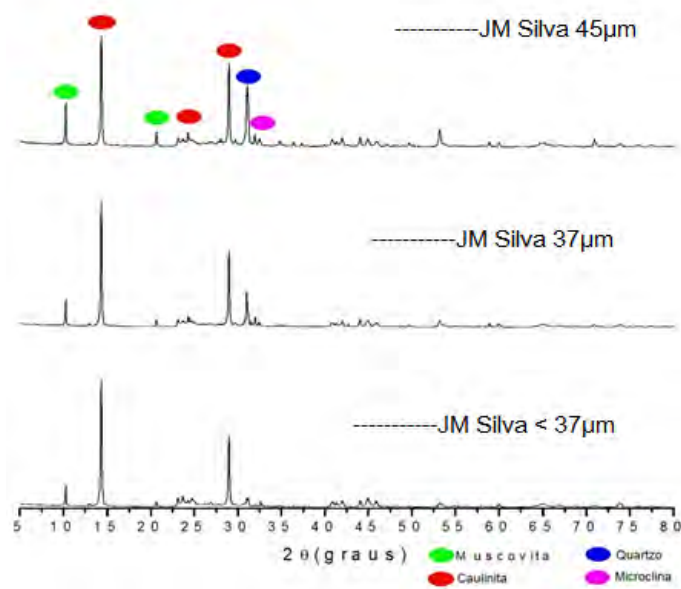


Figura 3 - Difratogramas de raios X da amostra JM Silva. Radiação Co K α (40 kV/40 mA)

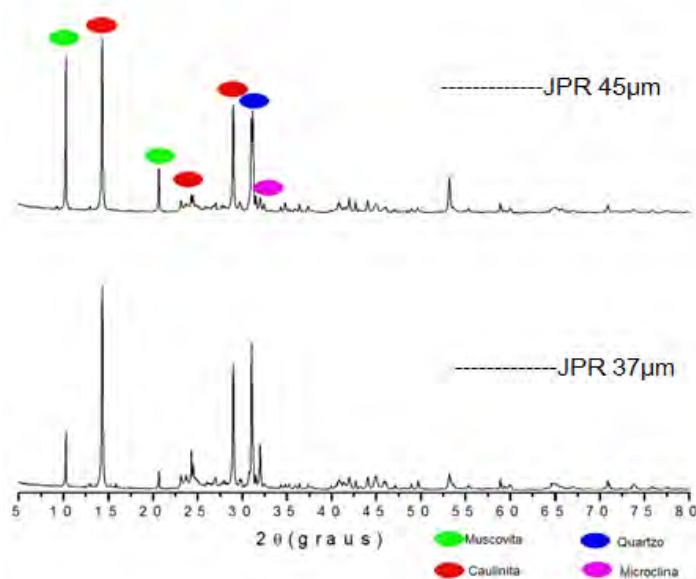


Figura 4 - Difratogramas de raios X da amostra JPR. Radiação Co K α (40 kV/40 mA)

4.4 Classificação no hidrociclone

O ensaio com hidrociclone foi realizado com resíduo de caulim da empresa JPR com granulometria abaixo de 841 μ m. As especificações do material para a ciclonagem foram: DS(g/cm³) de 2,64, SD de 20,00%, massa de 19.574 g e m.H₂O de 78.296 g. Os resultados na tabela 2 mostraram que a recuperação de material fino < 45 μ m no overflow foi de 99,69%, correspondendo a 64,84 da alimentação, sendo uma recuperação satisfatória referente à massa da alimentação. O material > 45 μ m obtido no overflow foi 0,31%, correspondendo a 0,20% da alimentação, indicando uma classificação eficiente. A fração fina < 45 μ m no underflow foi de 58,53%, correspondendo a 20,46% da alimentação, portanto, a perda de material fino que sai no underflow pode ser reduzida com uma segunda operação de ciclonagem. Com estes resultados identificamos uma grande porcentagem de material fino na recuperação com o hidrociclone.

Tabela 2. Resultado do ensaio de deslamagem em ciclone com resíduo da empresa JPR

Produto	Massa (g)	Porcentagem (%)	Fração >45 μ m			Fração <45 μ m	
			Massa	Porcentagem	Porcentagem	Massa	Porcentagem
Overflow	2.300,60	65,04	7,10	0,31	0,20	2.293,50	99,69
Underflow	1.236,60	34,96	512,85	41,47	14,50	723,75	58,53
Total	3.537,20	100,00	519,95		14,70	3.017,25	

4.5 Ensaio de alvura

Os ensaios de alvura foram feitos das amostras de resíduo da alimentação e dos produtos provenientes do hidrociclone. O resíduo da alimentação <841 μ m mostrou uma porcentagem de apenas 86,10% de alvura. O underflow >45 μ m apresentou 86,70% de alvura. O melhor resultado foi com a fração mais fina, overflow <45 μ m, esta obteve um percentual de 87,20% de alvura. Segundo Silva (2011, p. 263) o caulim para ser utilizado na indústria do papel como carga deve ter uma porcentagem de alvura entre 80-90% ISO. O resíduo analisado mostrou-se dentro desta especificação.

4.6 Análise química dos produtos do hidrociclone

Tabela 3. Resultado da fluorescência de raios-X dos produtos da ciclonagem com o resíduo da empresa JPR

Produtos	Massa (%)	SiO ₂		Al ₂ O ₃		Fe ₂ O ₃		K ₂ O	
		(%)	Recuperação (%)	(%)	Recuperação (%)	(%)	Recuperação (%)	(%)	Recuperação (%)
Overflow	65,04	44,61	62,83	40,28	65,08	0,42	52,43	0,50	17,42
Underflow	34,96	49,09	37,17	36,54	34,92	0,70	47,57	2,63	82,58
Total	100,00	46,18	100,00	38,89	100,00	0,52	100,00	1,52	100,00

A análise química dos produtos da ciclonagem indicou um percentual elevado de SiO₂ e Al₂O₃, esse elementos são compostos principais na estrutura química do caulim Al₂O₃·2SiO₂·2H₂O. Portanto, existe um percentual significativo de caulim ainda presente no resíduo que pode ser aproveitado.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostraram que existe a possibilidade de recuperação de caulim perdido no beneficiamento. O ensaio de hidrociclone apresentou uma recuperação de finos significativa. O teste de alvura do material do overflow apontou uma porcentagem de 87%, sendo ela satisfatória. A análise química do resíduo ensaiado no hidrociclone mostrou porcentagem significativa de caulim ainda presente no resíduo. Isso indica que se acrescentado mais uma etapa de classificação no beneficiamento aumentaria a porcentagem de caulim produzindo, assim aproveitando o máximo da substância útil no beneficiamento.

Com a caracterização química e mineralógica, pode-se concluir que o resíduo de caulim atendeu aos requisitos contidos na ABNT NBR 12653:1992 que trata de matérias pozolânicos. A sua composição mineralógica apresentou argilomineral, que é essencial para um composto pozolânico. O somatório das porcentagens das massas de SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ contido no resíduo se enquadra na porcentagem mínima de 70% específica da NBR 12653:1992. Portanto o resíduo de caulim possui as características relevantes, sendo possível sua aplicação como composto na indústria da construção civil. Mesmo com estes resultados, ainda é preciso ser feitos ensaios físicos e químicos de corpos de provas do resíduo aplicado no cimento, para assim poder comprovar a confiabilidade de utilização na indústria.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653 Materiais pozolânicos**. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 3082 Minérios de ferro - Procedimentos de amostragem e preparação de amostras**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

CASTRO, R. J. S. **Efeito da adição de feldspato e/ou resíduo de caulim em formulações à base de argila ilítica**. 2010. 140f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral. (2009). **Informativo Economia Mineral do Brasil**, p.474-483.

_____. (2014). **Sumário Mineral 2014**.

GUERRA, D.L.; LEMOS, V.P.; ANGÉLICA, R.S.; AIROLD, C. Influência da razão Al/Argila no processo de pilarização da esmectita. **Cerâmica**, vol 52, n.323, p.200-206, 2006.

LUZ, A. B. *et al.* Caulim. In: LUZ, A. B.; LINZ, F. A. F. (Eds). **Rochas & Minerais Industriais - Uso e Atribuições**. 1 ed. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Centro de Tecnologia Mineral, 2005, p. 231-262.

MENEZES, R. R. *et al.* Atividade pozolânica dos resíduos do beneficiamento do caulim para uso em argamassas para alvenaria. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol 13, n.6, p.795-801, 2009.

SILVA, F. A. N. G. *et al.* Alvejamento químico de caulins brasileiros: efeito do potencial eletroquímico da polpa e do ajuste do ph. **Nova Química**, vol 34, n.2, p.261-267, 2011.

ENSAIOS TECNOLÓGICOS PARA INSERÇÃO DO ARENITO NA MASSA CERÂMICA PARA REVESTIMENTO

Luiz Felipe Pereira de Medeiros Nóbrega¹, Marcondes Mendes de Souza², Yuri Souza Gomes³

¹ Aluno do curso de mineração integrado do IFRN campus Natal-Central, IFRN

² Professor do ensino técnico e tecnológico do campus CNAT, IFRN

³ Alunos do curso de mineração integrado do IFRN campus Natal-Central, IFRN
junior.luiz09@hotmail.com

RESUMO

O arenito é uma rocha sedimentar clástica formada principalmente por grãos de quartzo. No Rio Grande do Norte, tem-se a Bacia Potiguar, uma bacia sedimentar cretácea, com a Formação Jandaíra e a Formação Açu, esta última sendo usada neste trabalho. Essa bacia aflora em toda a porção norte do estado, estendendo-se (pequena porção) ao estado do Ceará. A Formação Açu é constituída por camadas espessas de arenitos médios a muito grossos, de cor esbranquiçada. Ela tem destaque pela sua importância como armazenador de água da região centro-norte do estado, porém também é usado para agregados para a construção civil, no caso, a areia. O arenito também pode ser usado como rocha ornamental, em comparação com o ano de 2014, no ano de 2015 o valor de arenito teve um aumento de 96%. Esse trabalho objetivou o uso do arenito na massa cerâmica para revestimento. Primeiramente foi feita a amostragem do material num afloramento rochoso em Mossoró/RN, o arenito foi colocado em sacos práticos. Para a obtenção da granulometria adequada o material passou pelo processo de moagem inicialmente manual, com almofariz e pistilo, e depois num moinho de bolas de laboratório, utilizando-se bolas de alumina. Posteriormente, o arenito moído foi peneirado na malha de 200 # (Mesh) até a obtenção de 100% de passante. Após isso foram feitas três formulações para incorporar esse novo material aos tradicionais feldspato, quartzo e argila, elas são chamadas de X1, X2 e X3. Foi feita a formação da massa, prensagem uniaxial e secagem numa estufa a 110°C. A massa passou pela sinterização a 1100°C, 1150°C e 1200°C e foram feitos os ensaios de absorção de água, porosidade aparente e retração linear nos corpos de prova. O trabalho em questão teve resultado positivo para a

utilização do arenito Açú para a massa cerâmica, é claro, portanto, o seu uso na indústria cerâmica.:

PALAVRAS-CHAVE: arenito, cerâmica, revestimento

ABSTRACT

The sandstone is a clastic sedimentary rock formed mainly by quartz grains. In Rio Grande do Norte, there is the Potiguar Basin, one cretaceous sedimentary basin, with Jandaíra and Açú Formation, the last is being used in this work. This basin outcrops across the northern portion of the state, extending (small portion) the state of Ceará. The Açú formation consists of thick layers of medium to very coarse sandstones, whitish in color. It has highlighted its importance as a storer of water in the north-central region of the state, but is also used for aggregates for the construction industry, the sand. The sandstone can also be used as ornamental rock, compared to the year 2014, in 2015 the sandstone value increased by 96%. This study aimed to the use of sandstone in the ceramic body coating. First the sample of the material was made on a rocky outcrop in Mossoro / RN, the sandstone was placed in practical bags. For obtaining suitable particle size material passes initially by manual grinding process, with mortar and pestle, and then in a laboratory mill balls, using alumina balls. Subsequently, the crushed sandstone was sieved on 200# mesh to obtain 100% undersize particles. After three formulations that were made to incorporate this new material to traditional quartz, feldspar and clay, they are called X1, X2 and X3. The formation of the mass was made, uniaxial pressing and drying in an stove at 110 ° C. The mass passed through sintering at 1100 ° C, 1150 ° C and 1200 ° C and were made from water absorption tests, linear shrinkage and porosity in the specimens. The work in question tested positive for the use of Açú sandstone for the ceramic body, of course, therefore, its use in the ceramic industry.

KEYWORDS: sandstone, ceramic, coating

1. INTRODUÇÃO

As rochas sedimentares da Bacia Potiguar são responsáveis pela intensa atividade petrolífera do estado, tendo em vista serem geradoras e armazenadoras de hidrocarbonetos. Também se destacam as rochas carbonáticas da Formação Jandaíra – de onde são exploradas matérias-primas

para fabricação de cimento, cal, ração animal – e a Formação Açú (Figura 1), como um grande armazenador de água na região centro-norte do estado (PFALTZGRAFF & TORRES, 2010).

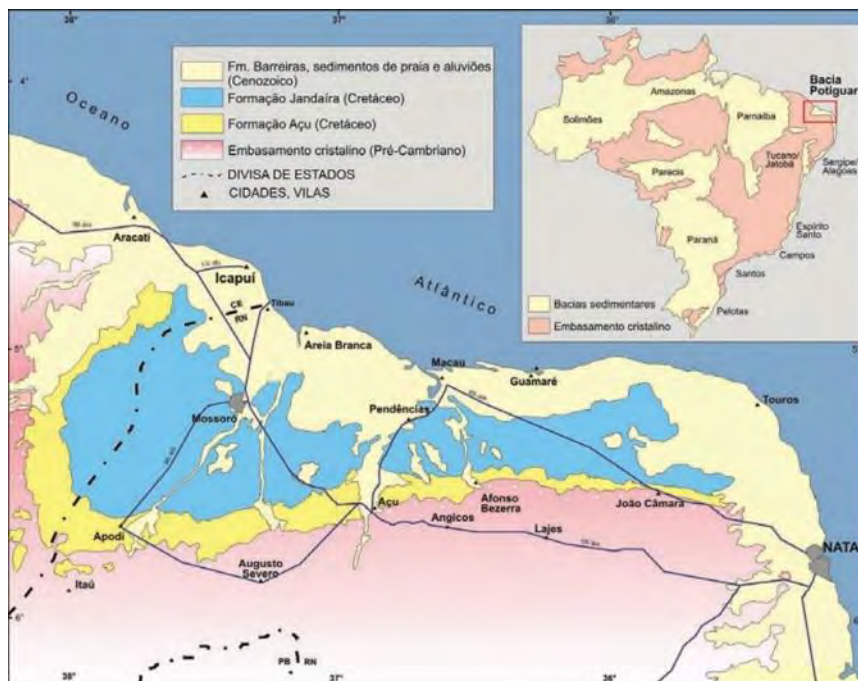


Figura 1. Mapa geológico simplificado da bacia potiguar. (FARIAS et al, 1990).

A Formação Açú, é constituída por sedimentos siliciclásticos, com predominância de arenitos e lamitos, que formam uma seqüência estratigráfica da ordem de centenas de metros de espessura. Esta deposição está relacionada a um evento transgressivo que culmina com os carbonatos de plataforma da Formação Jandaira (MENEZES, 2002).

No Brasil a cerâmica tem assumido um papel importante para a economia do país, com participação no PIB (Produto Interno Bruto) estimado em 1%, correspondente a cerca de 6 bilhões de dólares. Isso se deve a abundância de matérias-primas naturais e de fontes alternativas de energia aliadas a novas tecnologias. De maneira que a união desses fatores fez com que as indústrias brasileiras evoluíssem rapidamente e muitos tipos de produtos dos diversos segmentos cerâmicos, principalmente o revestimento, atingissem níveis de qualidade mundial com apreciável quantidade exportada (ABCERAM, 2005).

A Formação Açú é rica em quartzo (SiO_2) e este componente tem função primária na produção do revestimento cerâmico, mais especificamente o grés-porcelanato. Nesta massa cerâmica o quartzo é usado como componente refratário e durante a fase de queima ele é parcialmente dissolvido e forma uma nova fase cristalina, a mulita, em conjunto com os minerais alcalinos fundentes, geralmente feldspatos sódicos e potássicos (SANCHEZ et al, 2001).

Objetiva-se a utilização do arenito da formação Açú para ser um componente da massa cerâmica para revestimento, substituindo assim o quartzo, completamente ou parcialmente. Desta forma, este estudo leva em consideração a região que a Bacia Potiguar abrange e seu potencial para uma possível indústria ceramista, devido aos depósitos/jazidas dos materiais necessários para compor o revestimento cerâmico.

Tendo a região da Bacia Potiguar (Formação Açú e Jandaíra) rica em calcário (calcítico e dolomítico) e arenito, respectivamente. O potencial de empregos, diretos e indiretos, e desenvolvimento e investimento, privado e público, na região poderiam tornar o Noroeste norte-rio-grandense num destaque na produção de cerâmica e/ou cimento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, foi feita a amostragem das matérias-primas para a confecção e análise dos corpos-de-prova e a análise química dos componentes da massa cerâmica. .

Para a composição da massa cerâmica foram escolhidos quatro componentes, partindo da premissa de se obter o revestimento cerâmico. São eles: argila plástica, de queima clara, feldspato potássico (ortoclásio), quartzo e arenito Açú.

Os primeiros três componentes (argila plástica, feldspato potássico e quartzo) já são tradicionalmente usados na massa. O desempenho do arenito que está sendo avaliado neste artigo.

Os três primeiros materiais (argila plástica, feldspato potássico e quartzo) foram coletados em Parelhas/RN na empresa Armil Mineração do Nordeste Ltda. Já o arenito foi amostrado na cidade de Mossoró/RN num afloramento rochoso próximo a BR-304. Os materiais foram acondicionados em sacos práticos.

O processamento dos materiais, conformação da massa cerâmica, secagem, sinterização e os ensaios tecnológicos foram realizados no Laboratório de Processamento Mineral e Resíduo do IFRN e a análise química (FRX) do arenito no Laboratório de Caracterização de Minerais/Materiais do IFRN.

Para a confecção dos corpos-de-prova, as matérias deveriam estar numa granulometria abaixo de 200# (mesh), ou seja, as partículas deveriam estar com o diâmetro médio de 0,074mm. A argila, o quartzo e o feldspato já estavam na granulometria desejada quando foram coletadas na empresa. Já o arenito não estava na granulometria adequada.

Devido à rocha ser friável, foi feita uma descompactação inicial com o almofariz e pistilo de laboratório. Para a fragmentação desejada o material passou pelo processo de moagem via seca num moinho de bolas de laboratório. Foram utilizadas bolas de alumina de 40 mm, 30 mm e 12 mm. Numa proporção de 1:3:3. Os moinhos foram utilizados com cerca de 45% de carga (material+bolas).

Após ciclos de moagem de 4 horas o material foi retirado e foi classificado por meio de peneiramento. O material passou pelo processo de peneiramento até obter 100% de material passante na malha de 200# (mesh), de abertura de 0,074mm.

Com os materiais na granulometria adequada iniciou-se a homogeneização e quarteamento de cada amostra (LUZ & FRANÇA, 2010). Nessa etapa, o material foi colocado em uma lona, na qual o material era espalhado aos poucos de forma gradual e lenta formando uma pilha cônica. Em seguida, o material foi dividido em 4 partes duas delas, de lados opostos, foram retiradas e as outras duas permaneceram para serem novamente homogeneizadas e quarteadas, esse processo foi repetido até a obtenção de alíquotas de 5g. Estas foram submetidas aos ensaios de fluorescência de raios X para a análise química do arenito.

Após os materiais estarem nas condições adequadas, foram propostas 3 formulações, X1, X2 e X3. (Tabela 1)

Tabela 1. Porcentagem dos materiais em peso por formulação.

Formulação/ matéria-prima	X1	X2	X3
Argila	37%	37%	37%
K-Feldspato	53%	53%	53%
Arenito	10%	5%	7%
Quartzo	0%	5%	3%

No processo de preparação da massa cerâmica, os materiais são pesados numa balança analítica de precisão e homogeneizados manualmente atingindo um peso final de 12 g de massa seca. Depois de finalizada a homogeneização a seco, a massa é umedecida com água destilada (10% em relação à massa seca). Finalizado o processo de mistura das matérias-primas, os produtos são ensacados e passam por um período de 24 horas de repouso.

Para a compactação dos corpos-de-prova, colocou-se a massa em uma matriz com dimensões de 60 x 20 mm, sendo confeccionados dez corpos-de-prova para cada formulação. Esta etapa consiste de prensagem em matriz uniaxial à pressão de 2,5 ton. (marca Marcon), com

manutenção da pressão máxima por um período de um minuto para estabilização e homogeneização das partículas.

A secagem dos corpos-de-prova foi realizada em uma estufa a 110°C por 24 horas, para eliminação da maior parte da umidade.

A etapa de sinterização dos corpos-de-prova foi realizada em forno mufla, marca JUNG em atmosfera ambiente, sob patamar de 60 min. e taxa de aquecimento de 10°C/min. A temperatura de sinterização foi de 1200°C e o resfriamento foi feito de forma natural, com o forno desligado e fechado até atingir a temperatura ambiente.

Após a sinterização, foi feita a caracterização tecnológica dos corpos de prova com os ensaios de: absorção d'água e retração linear de queima.

A absorção de água mede o percentual em peso de água absorvida pelo corpo-de-prova seco. Este fator foi determinado de acordo com a norma NBR 13818/97 (ABNT, 1997).

A retração linear de queima é a medida da variação dimensional linear do corpo-de-prova após sinterização dos parâmetros de temperatura e patamar de sinterização especificado e espelha o grau de densificação da mistura (massa) nestas condições (MELO, 2006). Para a medição das dimensões do corpo-de-prova foi usado um paquímetro.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fluorescência de raios X apresentou um bom resultado com relação ao Arenito já que apresentou o maior teor de silício (Si) e teores médios de cálcio (Ca), alumínio (Al), e ferro (Fe) e em teores menores magnésio (Mg), potássio (K) e titânio (Ti), apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados da fluorescência de raios X do arenito açu.

Elemento	Si	Al	K	Fe	Ca	Mg	Ti
% massa	72.6	12.6	9.9	1.7	1.2	0.73	0.45

O teor majoritário de silício (Si) já era esperado, pois o arenito é uma rocha feita principalmente de quartzo que tem em sua composição química o silício (SiO₂) e os teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) são possivelmente resultado de uma intercalação dos carbonatos da formação Jandaíra (calcário e dolomito) com a Formação Açú já que estas estão sobrepostas.

As porcentagens de alumínio (Al) de potássio (K) são advindas da rocha que precedeu esse arenito, podendo ser um granito e/ou pegmatito (rochas silicatadas) e que poderiam ter na sua

composição mineralógica feldspatos que são alumino-silicatos de potássio (K) de sódio (Na) ou de cálcio (Ca). No caso da rocha que formou este arenito, possivelmente seria o K-feldspato devido aos teores apresentados de potássio (K). O ensaio de difração de raios-x seria essencial para a determinação precisa do mineral em questão. Os teores de alumínio são advindos, também, da contaminação devido ao desgaste dos corpos moedores durante a moagem. Estes são feitos de alumina (Al_2O_3), assim influenciando no teor de alumínio no material que foi feita a fluorescência.

O teor de ferro deve ser levado em consideração, pois interfere nas propriedades de coloração e flexão dos corpos cerâmicos, porém como o teor de ferro (Fe) está relativamente baixo, a influência provavelmente será mínima.

A Figura 2 apresenta os resultados da retração linear de queima das três formulações quando sinterizadas a $1200^\circ C$. A X1 foi a que teve o melhor resultado (6,87%) seguida da X2 (6,76%) e da X3 (5,25%).

Constatou-se uma queda da retração linear de queima diretamente proporcional à queda do percentual de arenito nos corpos-de-prova devido ao arenito possuir componentes fundentes, como o Cálcio, Ferro e Magnésio e eles são essenciais para a densificação da massa, assim aumentando a retração linear de queima (CARGNIN et al, 2012). Todavia o quartzo é constituído majoritariamente de sílica (SiO_2), componente este que é considerado refratário.

Logo, a adição de arenito açu na massa cerâmica trouxe uma melhoria técnica em relação a retração linear de queima para o produto final em relação ao quartzo.

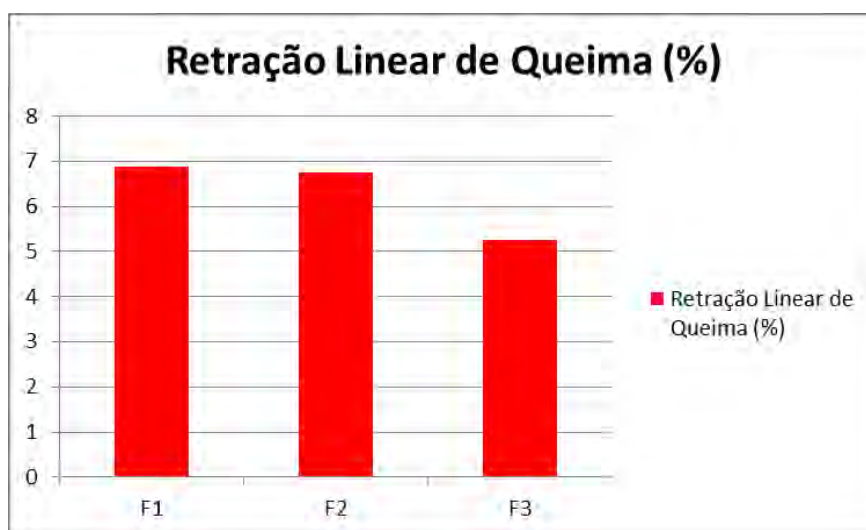


Figura 2. Resultados da retração linear de queima (RLQ) dos corpos-de-prova da formulação. X1, X2 e X3.

A Figura 03 apresenta os resultados da absorção de água dos corpos-de-prova das três formulações quando sinterizadas a 1200°C. A X3 foi a que teve melhor desempenho (0,02%) seguido da X1 (0,03%) e da X2 (0,06%). De acordo com a norma NBR 13818/97, os resultados apontam que a peça cerâmica obtida se encontra no grupo de absorção B1a (placas cerâmicas com absorção de água menor que 0,5%).

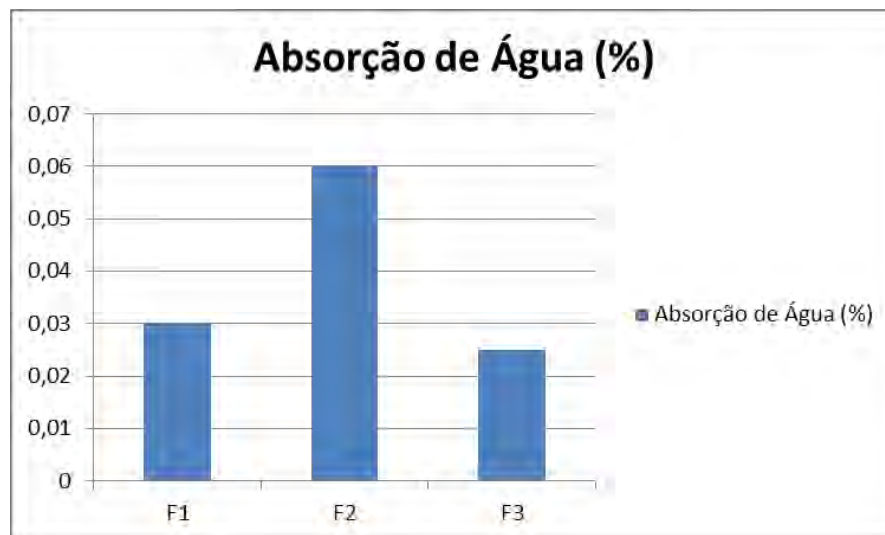


Figura 3. Resultados da absorção de água dos corpos-de-prova da formulação X1, X2 e X3.

As peças se encontram no grupo denominado, pela absorção de água de porcelanatos, que são caracterizados por sua baixa absorção e pela alta resistência mecânica. (INMETRO, 2016)

Os corpos-de-prova apresentaram uma coloração um pouco fora do padrão estabelecido pelo mercado, o mais próximo do branco possível. A coloração foi embranquecendo conforme o teor de arenito diminuía e o teor de quartzo aumentava isso devido à presença do ferro (Fe), que é considerado um contaminante e causa o escurecimento da peça cerâmica, no arenito açu (1,7%). Assim para a melhor aceitação no mercado, é uma alternativa possível e recomendada adicionar o caulim nesta formulação para a massa cerâmica para aumentar a alvura da mesma e assim aumentar a receptividade do mercado para este produto. Pois o caulim é um material usado na massa cerâmica para aumentar a alvura da peça cerâmica.

4. CONCLUSÕES

Verificou-se por meio de ensaios tecnológicos de absorção de água e de retração linear de queima que as três formulações foram bem sucedidas para a obtenção do porcelanato, sendo elas

com 10%, 5% e 3% de arenito açu na massa cerâmica, pois os corpos-de-prova atingiram a especificação de absorção de água da NBR 13818/97, se encaixando no grupo de absorção Bla.

A acrescentamento de caulim nesta massa poderá ter uma influência positiva para o revestimento cerâmico com a adição de arenito açu, pois o caulim aumenta a alvura do corpo cerâmico, característica essa que melhorará o fator mercadológico e técnico deste produto.

O estabelecimento de uma indústria ceramista na região norte do estado do Rio Grande do Norte torna-se possível devido ao mercado consumidor e a possibilidade de se produzir o grês-porcelanato, revestimento nobre, com matérias-primas locais e de beneficiamento relativamente simples, aumentando assim a relação custo-benefício.

O arenito, assim como aponta a literatura, possui em sua maior parte composição quartzosa, porém com alguns contaminantes como alumínio (Al), potássio (K) e ferro (Fe), e apresenta um grande potencial para ser utilizado na massa cerâmica, comprovado pelos ensaios tecnológicos realizados neste artigo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCeram. **Associação Brasileira de Cerâmica**. Disponível em: <<http://www.abceram.org.br>>. Acesso em: 25 de julho de 2005.

ABNT. **NBR 13818–Informações técnicas: Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaios**. Rio de Janeiro, 1997. Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br>>. Acesso em: 16 nov. 2013.

CARGNIN, Maykon et al. COMPARATIVO ENTRE DIFERENTES MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA RETRAÇÃO LINEAR DE PLACAS CERÂMICAS. **Revista Técnico Científica do IFSC**, v. 1, n. 2, p. 242-251, 2012. Disponível em: <<https://periodicos.ifsc.edu.br/index.php/rtc/article/viewFile/623/442>>. Acesso em: 23 fev. 2016.

FARIAS, P. R. C. et al. Cretáceo da bacia Potiguar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. Roteiro de Excursão. 43 p.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Revestimentos cerâmicos (pisos e azulejos)**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/revestimentos.asp>>. Acesso em: 23 fev. 2016.

LUZ, Adão Benvindo da; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Silvia Cristina Alves. **Tratamento de minérios**. 2010.

MELO, M. M. **Formulação e caracterização de massa de grês porcelanato preparadas a partir de matérias-primas naturais do Rio Grande do Norte e com adição de chamote de telhas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 136p. 2006.

MENEZES, L. **Caracterização Faciológica e Parametrização de Análogos a Reservatórios Petrolíferos Fluviais da Formação Açú (Unidade Açú-3) – Bacia Potiguar**. 2002. 54f. Relatório

(Graduação em Geologia) – Departamento de Geologia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, Rio Grande do Norte.

PFALTZGRAFF, P. A. S.; TORRES, F. S. M. **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Norte**. Recife: CPRM, 2010.

SANCHEZ E. , ORTS M. J. , GARCÍA-TEM J. , CANTAVELLA V. **Efeito da Composição das Matérias-Primas Empregadas na Fabricação de Grês Porcelanato Sobre as Fases Formadas Durante a Queima e as Propriedades do Produto Final**. Cerâmica Industrial. São Paulo. v.5 . n.6. p.15-22. 2001.

SOUZA, M. M. **Estudo da adição de resíduos de quartzitos para obtenção de grês porcelanato**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 60-61p. 2015.

FLOTAÇÃO DE FELDSPATO PEGMATÍTICO DE EQUADOR – RN

¹Marcelo Rodrigues, ²Valentina R. A. S. Arcanjo, Adriano P. Leandro³

^{1, 2, 3}Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Laboratório de Flotação, Avenida Tranquilino Coelho Lemos 671, Dinamérica: 58432–300, Campina Grande, PB.

marceloquimica@gmail.com

RESUMO

A produção de revestimentos cerâmicos e de vidros consome 87,5% dos feldspatos extraídos dos pegmatitos. A não adequação, tanto granulométrica como química, aos processos cerâmicos tem gerado perdas significativas de minerais industriais. O desenvolvimento de novas rotas tecnológicas pode viabilizar a oferta de novos minerais industriais, fomentando de certo modo a utilização de insumos minerais com maior qualidade agregada. Os feldspatos produzidos no Rio Grande do Norte em geral são de boa qualidade, com teores elevados de álcalis e baixos de óxido de ferro, adequados para uso nas indústrias de cerâmica branca e de vidro. O feldspato rico em albita é considerado de primeira; o feldspato potássico é classificado como de segunda ou de terceira (quando está contaminado com impurezas). Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo principal beneficiar o pegmatito da região de Equador-RN, para obter um concentrado de feldspato que possa ser utilizado na produção industrial para construção civil. Foram empregadas duas técnicas, concomitantes: as análises por difração de raios X e fluorescência de raios X, que fornecem como resultados a composição mineralógica qualitativa e a relação dos elementos constituintes com a sua proporção na forma de óxidos (quantitativa), respectivamente. Por meio dessa combinação (caracterização químico-mineralógica), é possível determinar a composição mineralógica das fases presentes, nas amostras de alimentação, no concentrado e no rejeito.

PALAVRAS-CHAVE: flotação, caracterização química, granitos pegmatóides.

ABSTRACT

The production of ceramic tiles and glass consumes 87.5 % of feldspars extracted from pegmatites. The unsuitability of particle size and chemistry, the ceramic processes have generated significant losses of industrial minerals. The development of new technological routes can enable the supply of new industrial minerals, fostering a sense the use of mineral fertilizers with higher aggregate quality. The feldspars produced in Rio Grande do Norte are generally of good quality, with high levels of alkali and low iron oxide, suitable for use in white ceramic and glass industries. The rich

feldspar albite is considered first; the potassic feldspar is ranked second or third (when contaminated with impurities). Thus, this study aims to benefit the pegmatite of Ecuador -RN region to get a feldspar concentrate that can be used in the production of industrial building construction. Two technique analyses were employed: analyses, x-ray diffraction and x-ray fluorescence, which provide the mineralogical and chemical composition, respectively. Through this combination (chemical and mineralogical characterization), it is possible to determine the mineralogical composition of the phases present in the head samples, concentrate and tailings.

KEYWORDS: flotation, chemical characterization, granites-pegmatites.

1. INTRODUÇÃO

O granito é uma rocha intrusiva formado por lava vulcânica endurecida, composto por minerais como o quartzo, micas (responsável pela cor) e feldspatos (silicato). O território nacional é rico na extração desse material, o que possibilita uma utilização ampla em diversas finalidades, dentre elas destaca-se o segmento da construção civil. Essa rocha é largamente utilizada em piso e escadas de alto tráfego, pias, balcões, lavatórios, revestimentos de fachadas e bancadas em geral, devido a sua alta resistência, maior dureza (raramente acontece riscos) e durabilidade elevada. Para produção de revestimentos requer-se uma certa quantidade de rocha bruta ou beneficiada.

Atualmente, grande parte dos processos produtivos são fontes geradoras de resíduos, que se apresentam na forma de gases, líquidos ou sólidos, podendo causar grande degradação ambiental. Dessa forma, a face atual da construção civil tem como perspectiva: a reutilização dos resíduos sólidos. Haja vista que, o uso de rochas ornamentais, como o granito, tem se destacado cada vez mais no cenário construtivo nacional. A produção dessas rochas é dividida em extração, corte, serragem e polimento dos blocos de pedra. Durante todo esse processo de produção, as perdas podem ser da ordem de 30 a 40%. Dessa forma, surge a preocupação com relação ao destino dos resíduos que sobram, se tais materiais forem descartados em rios ou lagos ocasionarão impactos ambientais negativos. Portanto, é necessário um local apropriado para o descarte destes detritos ou a utilização dos mesmos para a produção de outros componentes utilizados na própria construção civil (GONÇALVES, *et al.*, 2002). Além do mais, o problema da produção de granito em qualquer parte do mundo não está relacionado diretamente à produção dos materiais mais elaborados, mas sim nos subprodutos (derivados do não aproveitamento de todo o material por condições geológicas desfavoráveis) tais como a brita 25 e 18 que geram enorme quantidade de poeira fina, altamente nociva a vida humana e ao meio ambiente, também

responsável por inúmeros passivos ambientais. Diante desta problemática, observa-se que o reaproveitamento desses fragmentos, gerados durante o processamento da brita ou cortes de chapas de granito, que, dependendo do teor de feldspato, poderá ter aplicações no processamento de revestimentos cerâmicos ou na fabricação de cimentos. Entretanto, são necessários estudos sobre as características do granito, bem como a sua composição química e resistência mecânica, voltado para fins da construção civil. No Brasil a quantidade estimada da geração do resíduo de corte granito é de 165.000 ton/ano (SILVA, *et al.*, 2005).

1.1 Fundamentação Teórica

No Brasil, as ativações vulcânicas ocorreram em um passado distante, visto que o mais recente ocorreu na Era Cenozóica (Terciário). O material magnético resultante forma o postigo, cujo forma a rocha metamórfica (ígnea). Em virtude da pressão e temperatura, as rochas poderão apresentar alguns materiais, como o granito, que são encontradas em grandes profundidades, de maneira que sua existência depende de fatores determinantes como os fluidos em circulação - resultantes da erupção, magna - e o tempo em uma determinada temperatura. O granito é uma rocha intrusiva formado por lava vulcânica endurecida, composto por minerais como o quartzo, micas (responsável pela cor) e feldspatos, que são tectossilicatos subdivididos em: **1)** potássicos ($(K,Na)AlSi_3O_8$ (microclina, ortoclásio e sanidina); **2)** série isomórfica calcio-sódica ou plagioclásios ($NaAlSi_3O_8$ - albita, $CaAl_2Si_2O_8$ - anortita, além dos termos intermediários oligoclásio, andesina, labradorita e bitownita) e **3)** feldspatos de bário [$BaAl_2Si_2O_8$ - celsiana e hialofana - $(K,Ba)Al(Al,Si)_3O_8$]. Os dois primeiros conjuntos mineralógicos são os principais formadores dos corpos pegmatíticos homogêneos e heterogêneos constituintes da Província Pegmatítica do Rio Grande do Norte e Paraíba. Esses feldspatos (produzidos no Rio Grande do Norte), em geral, são de boa qualidade, com teores elevados de álcalis e baixos de óxido de ferro, adequados para uso nas indústrias de cerâmica branca e de vidro. O feldspato rico em albita é considerado de primeira; o feldspato potássico é classificado como de segunda ou de terceira (quando está contaminado com impurezas). A produção de revestimentos cerâmicos e de vidros consome 87,5% dos feldspatos extraídos dos pegmatitos do Estado (SOUZA, *et al.*, 2007).

1.2 Justificativa

Os passivos decorrentes da lavra e beneficiamento de corte do granito são de responsabilidade não só da mineração, enquanto atividade extrativista, mas também da construção civil que adquire grande número dos produtos de origem mineral. Desta maneira, a construção civil assume este encargo: encontrar soluções para problemas dessa ordem, já que elas afetarão diretamente os fatores da disponibilidade dos produtos, e conseqüentemente, o preço de mercado. Tradicionalmente, resíduos são dispostos em aterros e muito geralmente descartados diretamente no meio ambiente, sem qualquer processo de tratamento ou imobilização. Todavia, alternativas de reciclagem e/ou reutilização devem ser investigadas e, sempre que possível, implementadas. A abordagem ambiental mais recente objetiva o desenvolvimento sustentável, minimizando o descarte de materiais, estimulando o reaproveitamento dos resíduos gerados nos diversos setores da economia (RAUPP-PEREIRA, *et al.*, 2006) A reutilização e a reciclagem de resíduos, após a detecção de suas potencialidades são consideradas atualmente alternativas que podem contribuir para a diversificação de produtos, diminuição dos custos de produção, fornecer matérias-primas alternativas para uma série de setores industriais, conservação de recursos não renováveis, economia de energia e, principalmente, melhoria da saúde da população. As atividades mineradoras que não apresentam controle sustentável sobre seu processo desencadeiam sérios problemas à saúde dessa mesma sociedade, que apresentam bens materiais de última geração, mas sofre pela insalubridade do meio ambiente extremamente poluído (SOUZA, *et al.*, 2004). Em virtude da enorme quantidade de resíduos gerados pelo beneficiamento do corte do granito, e o elevado grau de prejuízo gerado ao meio ambiente quando ocorre descartes inadequados, surge a necessidade da criação de novas formas de utilização dos resíduos acumulados no processo de produção de granito, como o uso desses produtos em ligas, massas e no próprio cimento na construção civil. A reutilização desses resíduos é uma das alternativas mais aceitáveis para o desenvolvimento sustentável, pois ocorre redução do consumo de recursos naturais, de energia, como também dos impactos ambientais ocasionados, além de promover inovações de produção, promoção de menor custo e ampliação do mercado construtivo. Segundo o CONAMA, os materiais como o granito proveniente das construções são conceituados como RCC (Resíduos de Construção Civil) classificados à categoria Classe A cujo os seus destinos devem proporcionar benefícios de ordem social, econômica e ambiental. Semelhantemente, o Programa Nacional do Meio Ambiente respalda no artigo 9, “ V -

os incentivos à produção e instalação de equipamentos e a criação ou absorção de tecnologias, voltadas para melhoria da qualidade ambiental”, haja vista, que as análises física, química e ambiental do material deverá resultar parâmetros de acordo com as normas da ABNT - NBR 11004 e NBR 1575) (LUZ, A. B., *et al.* 2005), tendo em vista uma maior aceitação dos consumidores.

1.2.1 Objetivo

O objetivo desse trabalho é a caracterização química do resíduo de granito gerado em uma pedreira do município de Equador-RN, seguido da aplicação da técnica de flotação (e a sinergia dos diferentes efeitos dos parâmetros operacionais desse processo), como ferramenta para a separação dos minerais contidos nesse pegmatóide, objetivando o aproveitamento mais racional dos minerais de interesse econômico, particularmente o feldspato.

2. MATERIAIS e MÉTODOS

Inicialmente, foi feita uma amostragem de 100 kg da fração denominada rejeito do desbaste (Figura 01) do granito de certa mineradora do município supracitado. Na etapa seguinte, a partir da homogeneização da amostra global, em pilha triangular, seguida de quarteamento, foram retiradas amostras de 20 kg. Para realizar os ensaios em laboratório, foi feito uma nova pilha de homogeneização com uma massa de 20 kg, obtendo alíquotas de 1,0 kg. O minério foi moído a 80% abaixo de 28 malhas, em moinho de bolas com 50% de sólidos e deslamado em peneira de 0,044 mm (325 malhas). Os estudos de flotação foram realizados no Laboratório de Flotação do *campus* Campina Grande do IFPB, utilizando-se para tal, uma célula DENVER modelo D12 (Figura 2), com uma cuba de 3 L e amostras de 0,5 kg, previamente moída. Vazão de ar utilizada foi 4L/min. Essa separação envolve uma etapa de deslamagem, seguida do condicionamento da polpa e, o estágio de flotação. Apenas o coletor Flotigam EDA® (dodeciléter amina), da Clariant foi utilizado. O ajuste do pH foi realizado com uma solução de NaOH. As condições do teste estão sumariadas na Tabela 01.

O material em estudo trata-se de uma amostra de pegmatóide, com composição majoritária de feldspatos, mas com traços de quartzo e uma quantidade de mica variável e irregular distribuição. Os feldspatos são os constituintes principais dos pegmatitos simples e são comuns em filões minerais; sua composição química é uma característica fundamental, principalmente em relação aos teores de sílica (SiO₂), alumina (Al₂O₃), álcalis (K₂O e Na₂O) e óxido de ferro (Fe₂O₃). São importantes no meio industrial, pois apresentam fusibilidade, capacidade de

vidrar e de induzir a fusão em temperaturas mais baixas no domínio da fabricação de vidro e revestimento cerâmicos. Foi utilizada a técnica da Espectrometria de Fluorescência de Raios-X para determinação do conteúdo de Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, P, Mn e Ti. Os resultados são expressos na forma dos óxidos constituintes, utilizando-se um espectrômetro de fluorescência de raios-X (FRX) Shimadzu modelo XRF-1800. Este equipamento aproveita as características ondulatórias e corpusculares da matéria para a obtenção de informações relativas à composição química de maneira quantitativa, semi-quantitativa e qualitativa, pois o mesmo conta com um sistema dispersivo de comprimentos de ondas (Wavelength Dispersive Spectrometer - WDS). Os difratogramas de Raios X foram obtidos utilizando um Difratorômetro, marca Shimadzu, modelo Lab X/XRD-6000, na faixa de $2\theta = 15 - 80^\circ$, com um passo de $0,02^\circ$ e tempo de passo de 2,0 s, utilizando a radiação $K\alpha$ do cobre como fonte de radiação monocromática. As análises química e mineralógica do material foram realizadas no Laboratório de Solidificação Rápida da UFPB. As imagens das amostras foram obtidas com o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) de Bancada Phenom ProX. As amostras foram colocadas na estufa à 50°C por 30 minutos para retirar a umidade e, nesse equipamento, não necessitam de serem metalizadas.

Tabela 1. Condições operacionais e sistema de reagentes do processo de flotação do granito-pegmatóide.

Tempo de cada estágio (minutos)	$\text{pH}_i - \text{pH}_f$	Coletor (g/t) Flotigam EDA	Fração	Massa (g)	Recuperação Mássica (%)	
Deslamagem	3		Deslamagem	8	1,6	
Condicionamento	1	10,20 - 9,91	100	Concentrado	86	17,2
Flotação	5		Rejeito	405	81,0	
			Alimentação	500	100	



Figura 1 – Amostra do granito pegmatóide: (a) natural; (b) sendo cortada e (c) após desbaste

3. RESULTADOS e DISCUSSÕES

A seguir são mostradas na Figura 02 o aspecto físico da espuma gerada na flotação do granito-pegmatóide. Verificou-se que as espumas possuíam resistência característica de partículas flotadas com boa adesão à bolha. Portanto, a secagem do material se tornou fácil, pois não houve arraste de água da polpa, devido à boa hidrofobicidade das partículas e, conseqüentemente, agregados estáveis.



Figura 2 – Espumas geradas durante a flotação do granito-pegmatóide

Observa-se nos difratogramas de raios-X, Figura 03 (b) e (c) que ocorreu a flotação preferencial da mica, entretanto uma parte do feldspato também flotou. Como esperado, não houve uma flotação considerável do quartzo. Por outro lado, todas as fases mineralógicas apresentam picos na fração de rejeito.

Os resultados da FRX (Tabela 02) e da análise mineralógica, por DRX, são consistentes entre si, pois os teores de K_2O nas análises químicas encontram-se em torno de 5,5%, indicando a presença de feldspato potássico (microclínio, $KA_1Si_3O_8$) com maior intensidade em $27,56^\circ$; enquanto que em $28,04^\circ$ identifica-se a muscovita. Os teores de Na_2O apresentam-se em torno de 3,0%, o que indica a presença de feldspato sódico (albita ou oligoclásio). A análise por Difração de Raios X apresentou o principal pico em 2θ $26,72^\circ$ (100%), do quartzo (o teor de SiO_2 é elevado na amostra).

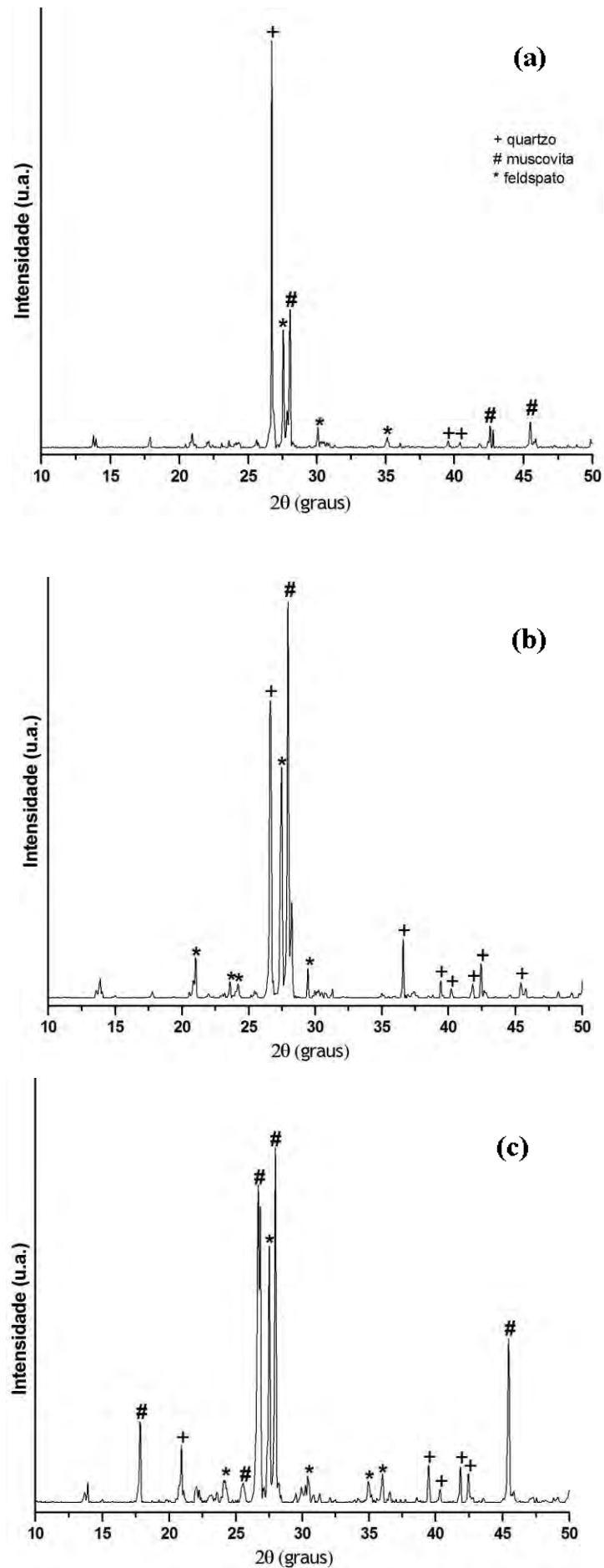


Figura 3 – DRX do granito-pegmatóide: (a) alimentação, (b) rejeito e (c) flotado

Tabela 2. Resultado da Fluorescência de Raios-X para a Flotação do Granito-Pegmatóide

Óxido	Frações (%)			
	ALIMENTAÇÃO	DESLAMADO	CONCENTRADO	REJEITO
SiO ₂	73,9502	72,5827	70,8370	74,0773
Al ₂ O ₃	15,8911	16,5864	17,9434	14,9389
K ₂ O	5,2587	5,5780	6,3617	5,3874
Na ₂ O	3,2736	3,2675	2,7427	3,6196
CaO	0,7825	0,9126	0,6301	1,1045
Fe ₂ O ₃	0,2605	0,3880	0,4883	0,3160
MgO	0,1764	0,2360	0,4616	0,1339
MnO	0,1739	0,1006	0,1040	0,2249
P ₂ O ₅	0,1368	0,1552	0,1092	0,1330
TiO ₂	0,0304	0,0361	0,0722	0,0273
SO ₃	0,0273	0,0264	0,0316	-----
Rb ₂ O	0,0261	0,0310	0,0406	0,0295
CuO	0,0049	0,0164	0,0091	0,0078
ZrO ₂	0,0040	0,0071	0,0048	-----
ZnO	0,0037	-----	0,0051	-----
Cr ₂ O ₃	-----	0,0106	-----	-----
NbO	-----	-----	0,0062	-----
PPC	-----	0,0654	0,1524	-----

As micrografias eletrônicas de varredura, MEV (Figura 04) com elétron secundário das frações das amostras do granito-pegmatóide de Equador (RN) indica que os tamanhos dos cristais da alimentação e do rejeito situam-se entre 100 a 200 μm . Enquanto que os agregados flotados possuem, no máximo, 80 μm . Entretanto, verifica-se que a maioria das partículas flotadas são bem menores do que o valor máximo. Podem, ainda, indicar também que houve muito arraste hidráulico das partículas finas para o flotado e que a deslamagem pode não ter sido também tão eficiente, uma vez que se observa partículas muito finas na alimentação e nos dois produtos gerados da flotação.

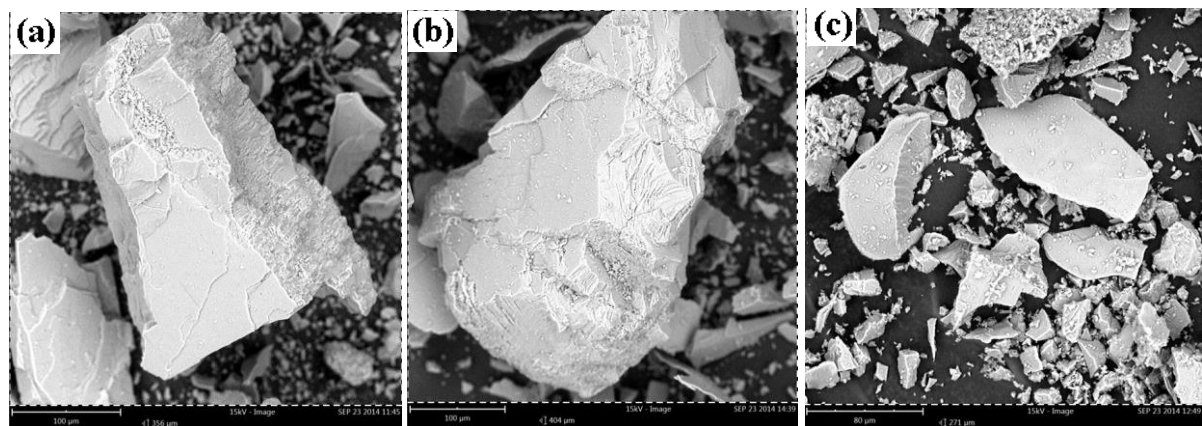


Figura 4 – Imagem (MEV) de cristais do granito-pegmatóide: (a) alimentação, (b) rejeito e (c) agregados flotados.

4. CONCLUSÕES

O granito-pegmatóide de Equador-RN, em estudo, é constituído basicamente por feldspato sódico e potássico, muscovita e quartzo. Esses minerais encontram-se liberados na granulometria inferior a 589 μm (28 Mesh).

No processo de flotação, no qual se utilizou o coletor Flotigam EDA (etermonoamina de cadeia carbônica ramificada), que se mostrou pouco seletivo, pois não promoveu o aumento significativo na concentração de feldspato no produto final. Para obter um concentrado de feldspato com teores mais elevados de álcalis, deve-se estudar outros sistemas de reagentes, como por exemplo, a utilização de um extensor de cadeia (óleo natural) pode ser mais benéfico para que os minerais de quartzo e muscovita sejam coletados na espuma.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GONÇALVES, J. P.; MOURA, W. A.; DAL MOLIN, D. C. C.. *“Avaliação da influência da utilização do resíduo de corte de granito (RCG), como adição, em propriedades mecânicas do concreto”*. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 53-68, jan./mar. 2002.

LUZ, A. B. e COELHO, J. M., *“Feldspato”*, In: Luz, A. B., Lins, F.F. (eds), *Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações*, 1ª ed., capítulo:19, Rio de Janeiro, Brasil, CETEM/MCT, 2005.

RAUPP-PEREIRA, F., HOTZA, D., SEGADÃES, A.M., *et al.*, *“Ceramic Formulations Prepared with Industrial Wastes and Natural sub-products”*, *Ceramics International*, v. 32, n. 2, pp 173-179, 2006.

SILVA, J. B.; HOTZA, D.; SEGADÃES, A. M.; ACCHAR, W. *“Incorporação de lama de mármore e granito em massas argilosas”*. Cerâmica 51, pp 325-330, 2005.

SOUZA, T.F; ARAÚJO, S.P; LIMA, R.F.S; MELO, J.V. *“Análise da Composição Química de Minerais Pertencentes ao Grupo dos Feldspatos na Região do Seridó”*. In: Congresso Brasileiro de Química, 47, Natal/RN. Anais. Natal, 2007.p. 521- 532, 2007.

SOUZA, L.P.F., MANSUR, H.S., *“Production and Characterization of Ceramic Pieces Obtained by slip Casting Using Powder Wastes”*, *Journal of Materials Processing Technology*, v. 145, pp. 15-20, 2004.

Patrocínio Diamante

Ministério da Ciência,
Tecnologia e Inovação

Secretaria de Geologia,
Mineração e
Transformação Mineral

Ministério de Minas
e Energia



Patrocínio Ouro



Patrocínio Prata



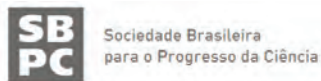
Patrocínio Bronze



Mídia



Associação Brasileira de
Metalurgia, Materiais e Mineração



Apoio

