

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE RESÍDUOS DE BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS PARA SEU USO EM CONCRETO

TECHNOLOGICAL CHARACTERIZATION OF DIMENSION STONES PROCESSING WASTE FOR ITS USE IN CONCRETE

Saulo Tuayar Spala

Aluno de Graduação da Engenharia de Minas, 9º período, IFES
Período PIBIC/CETEM: abril de 2017 a julho de 2017
stuayar@cetem.gov.br

Nuria Fernández Castro

Orientadora, Eng.^a. de Minas, M.Sc.
ncastro@cetem.gov.br

Fábio Conrado de Queiróz

Orientador, Tecnólogo em Const. Civil, M.Sc.
fqueiroz@cetem.gov.br

Leonardo Cattabriga Freire

Orientador, Eng. de Petróleo e Gás e Eng. de Segurança do Trabalho
lfreire@cetem.gov.br

RESUMO

O Brasil ocupa o sétimo lugar dentre os maiores exportadores mundiais de rochas ornamentais. O Estado do Espírito Santo destaca-se como um dos maiores produtores e beneficiadores de rochas ornamentais dentro do cenário nacional. Atualmente, um dos problemas de maior relevância para o setor de rochas é a grande quantidade de resíduos gerada, estimando-se que mais de 1,5 milhão de toneladas correspondam aos resíduos finos nas unidades de beneficiamento que não têm utilização industrial. Um dos possíveis usos desses materiais é na indústria da construção civil incorporando-os a misturas de concreto e argamassas, dentre outros, já que é uma indústria com alto consumo de agregados. A elevada finura dos resíduos é uma característica que os têm colocado dentre as alternativas viáveis de aproveitamento sustentável, incorporando-os a matrizes cimentícias como fíler (*Ecofiller*) em concretos. A caracterização tecnológica dos resíduos provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais é de extrema importância na definição das melhores aplicações para tais resíduos. Dentro de um projeto do CETEM de elaboração de um mapa de disponibilidade de resíduos de rochas ornamentais como possíveis matérias primas para outros produtos, foram caracterizadas tecnologicamente 22 amostras de resíduos com a finalidade de verificar sua possível utilização como fíler em concreto. Os resultados mostraram que os resíduos tem uma granulometria muito fina, com 80% < 0,075 mm, densidade entre 2,6 e 2,8 g/cm³ e alto teor de SiO₂ (>50%). Para seu uso em concreto deve ser estudada a reatividade da sílica, que poderia inviabilizar esse uso.

Palavras chave: resíduo, fíler, concreto.

ABSTRACT

Brazil ranks seventh among the world's largest exporters of ornamental stones. The State of Espírito Santo stands out as one of the largest producers and processors of natural stones within the national scenario. Currently, one of the most relevant problems for the stones sector is the large amount of waste generated, of which 1.5 million tons correspond to the fine residues in the beneficiation units that do not have industrial use. One possible use for that kind of waste is as filler in concrete and mortar admixtures, where large quantities of aggregates are consumed. As those wastes are very fine grained, it seems a sustainable alternative to use them as filler (*Ecofiller*) in concrete. However, the technological characterization of the residues from the

processing of natural stones is of extreme importance in the definition of the best uses for such residues. A total of 22 waste samples were characterized in order to verify their possible use as concrete filler, as part of a CETEM project of mapping the stones wastes availability as secondary raw materials. Results, so far, showed a very fine grained material, 80% < 0,075 mm, with 2,6 to 2,8 g/cm³ specific mass, and high SiO₂ content (>50%). Among other things, reactivity of that silica must be studied, as it could turn their use in concrete not viable.

Keywords: residue, filler, concrete.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é reconhecido mundialmente pela produção e comercialização de rochas ornamentais. De acordo com dados da Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (Abirochas, 2014), o país é o sétimo maior exportador mundial de rochas em volume físico, atrás apenas da China, Índia, Turquia, Itália, Irã e Espanha. Ainda de acordo com a Abirochas (2017), em 2016, foram exportadas 3,4 milhões de toneladas, com um valor de US\$ 1,138 bilhões e no cenário nacional, o estado do Espírito Santo destaca-se como o maior produtor e beneficiador de rochas ornamentais, sendo responsável por 80% das exportações do país em valor. Sabe-se que o Estado do Espírito Santo se caracteriza por ter sua produção de recursos minerais centrada, basicamente, em recursos não metálicos com destaque para aqueles empregados na construção civil a exemplo de agregados e rochas ornamentais. De acordo com dados do Anuário Mineral Estadual do Espírito Santo de 2016 (DNPM, 2016), do valor total da produção de minerais comercializados dentro do Estado, as rochas ornamentais perfazem um total de 77% da produção. Em seguida, encontram-se os segmentos ligados à produção de brita, calcários de emprego industrial e agrícola e areia nessa ordem de relevância.

Um dos problemas de maior importância, hoje, para o setor de rochas ornamentais é a grande quantidade de resíduos gerada, estimada em mais de 20 milhões de toneladas de resíduos grossos (blocos não aproveitados, pedaços de rocha) por ano, nas pedreiras, e 1,5 milhão de toneladas de resíduos finos nas unidades de beneficiamento, que não têm utilização industrial (Campos *et al.*, 2014). A extração brasileira de rochas totalizou 9,3 milhões de toneladas em 2016, sendo 8,2 milhões de toneladas processadas no país (Abirochas, *op. cit.*). Considerando que, no desdobramento de blocos em chapas, 26% do material é transformado em resíduo fino (Souza *et al.*, 2013) pode-se dizer, grosso modo, que em 2016 foram produzidas mais de 2 milhões de toneladas desse resíduo.

Dentro desse contexto, faz-se necessário buscar uma forma de reinserir na cadeia produtiva tais finos produzidos originários do beneficiamento de rochas ornamentais e a aplicação desses resíduos em matrizes cimentícias tem se mostrado uma alternativa viável devido às suas características químicas e à sua finura (Gonçalves, 2000; Menezes *et al.*, 2009; Aruntaş *et al.*, 2010; Corinaldesi *et al.*, 2010; Topçu *et al.*, 2009). Por outro lado, no Brasil, o consumo estimado de agregados naturais, somente na produção de concretos e argamassas, é de aproximadamente 220 milhões de toneladas por ano (John, 2000). Percebe-se assim uma oportunidade para reduzir o consumo de matérias primas naturais, valorizando os resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais e diminuindo a necessidade de áreas de aterro para seu depósito. Devido à granulometria desses resíduos, sua utilização como carga ou fíler em produtos de concreto parece ser uma excelente opção cuja viabilidade ainda tem que ser comprovada, pois são muitos e diversos os materiais pétreos comercializados como rochas ornamentais. Dentre os diversos tipos de concretos hoje usados pela indústria da construção civil, o concreto autoadensável tem uso estendido na construção de paredes e lajes. Segundo Moraes, 2010, o concreto autoadensável requer uma grande quantidade de materiais finos os quais, em sua maioria, contribuem principalmente para o aumento da viscosidade e em segundo plano para o aumento da fluidez. Este requisito é atendido pelo uso de cimento em conjunto com adições minerais, as quais podem possuir maior superfície específica e, por isso, irão

melhorar a distribuição granulométrica. A utilização de finos no concreto auto adensável faz com que este contribua significativamente para a sustentabilidade da tecnologia do concreto tendo em vista que a maior parte das adições minerais consiste em resíduos de diversos setores industriais, que prejudicariam o meio ambiente se lançados de forma inadequada (Gomes *et al.*, 2003).

Segundo Jamkar e Rao (2004), diversas propriedades dos agregados exercem influência nas propriedades do concreto, tanto no estado fresco quanto no endurecido. Pode-se citar a dimensão, a granulometria, a forma e a textura superficial. Para exemplificar, agregados mais angulosos e que possuem superfície mais rugosa contêm mais vazios do que agregados arredondados de superfície lisa, e dessa forma, irão demandar mais água para garantir a trabalhabilidade do concreto afetando também a resistência à compressão. Dessa forma, a realização de análises com intuito de identificar a densidade, a granulometria, a composição química bem como a geometria dos grãos e a forma como estão arrançados, fornece informações de profunda relevância na definição das melhores aplicações dentro do contexto da utilização como filler para concreto.

Este estudo faz parte de um projeto que vem sendo desenvolvido em parceria com o Instituto Internacional do Mármore (IS.I.M) e a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), que busca utilizar os resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais em produtos com base de cimento. Resultados positivos já foram obtidos na Itália, com resíduos locais, para utilização desses como filler (*Ecofiller*) em diversas misturas de produtos cimentícios. No âmbito desse projeto, no Núcleo Regional do Espírito Santo do Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/NRES, está sendo elaborado um mapa de disponibilidade de resíduos, com quantidades e características, para sua futura utilização. Este trabalho, iniciado em abril, consiste na caracterização de 22 tipos de resíduos amostrados.

2. OBJETIVOS

Caracterizar diversos tipos de resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais, disponíveis em aterros industriais, serrarias e marmorarias, visando ao seu uso como filler (*Ecofiller*) de concreto.

3. METODOLOGIA

A metodologia contemplou uma revisão de literatura e preparação de 22 amostras coletadas em aterros industriais da região Sul do Estado do Espírito Santo pela equipe do NRES. As amostras estão constituídas de resíduos de processamento de mármore, de granitos comerciais (materiais silicáticos diversos), de mistura de materiais silicáticos e carbonáticos e uma amostra de resíduo de polimento de quartzito. Nas 22 amostras coletadas, após adequada preparação, executou-se o ensaio de determinação da densidade real, por meio da picnometria, seguindo norma DNER-ME 093/94; foram realizadas as análises de granulometria a laser por meio do equipamento medidor de tamanho de partículas Mastersizer 2000, acessório MU da Malvern Instruments; foi determinada sua composição química, por meio de Espectrometria de Fluorescência de Raios-X; e, após destorroamento e posterior peneiramento em peneira granulométrica de malha regular 106 μm , foram encaminhadas para a sede do CETEM para análise em Microscópio Eletrônico de Varredura - MEV.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização dos Resíduos

4.1.1. Determinação da densidade real

Os resultados obtidos demonstram que a média das densidades das 22 amostras variou pouco. Os valores encontrados situam-se na faixa compreendida entre 2,6 – 2,8 g/cm^3 , à exceção do valor encontrado para a amostra de resíduo de polimento de um quartzito, que foi de 2,24 g/cm^3 , valor inferior ao esperado para um quartzito, mas explicável pela grande quantidade de resina utilizada em seu beneficiamento, já que é muito fraturado.

4.1.2. Determinação de tamanho de partículas (Malvern)

Os resultados obtidos demonstram que os resíduos são compostos por partículas finas em maior percentual. Dentre as 22 amostras coletadas, 3 são de resíduos provenientes do beneficiamento de rochas utilizando o fio diamantado. Essas amostras apresentam maior percentual de finos sendo que os resultados obtidos no ensaio demonstram valores acima de 90% passante na peneira de malha regular 0,075 mm. Outras 3 amostras, de origem carbonática, também apresentaram um percentual de finos acima de 90% passante na peneira de malha regular 0,075mm. Ademais, observou-se que as 16 amostras restantes obtiveram um percentual de 80% passante na peneira de 0,075mm. Dessa forma, tais resíduos são passíveis de serem enquadrados na aplicabilidade como filler para concreto pois, de acordo com a granulometria encontrada nos resultados, todas as amostras obtiveram mais de 80% passante na peneira de malha 0,075 mm.

4.1.3. Espectrometria de fluorescência de raios – X

Os resultados do ensaio demonstraram que 4 amostras apresentaram valores acima de 70% em teor de óxido silício (SiO_2), esse percentual é característico de rochas de origem ácida (silicática).

Outras 3 amostras demonstraram ser de origem carbonática, com teores de óxido de cálcio (CaO) de aproximadamente 27%. As 14 amostras restantes, variaram o teor de óxido de silício (SiO_2) numa faixa de 56,4 % a 67,8% indicando que correspondem a resíduos de granitos comerciais com possível mistura de outras rochas silicáticas. Apenas uma amostra apresentou teores intermediários de 46% de SiO_2 e 12,4 % de CaO indicativos de mistura entre resíduos provenientes de rochas tanto de origem silicática quanto carbonáticas.

Quanto ao teor de óxido de alumínio (Al_2O_3) identificou-se que em 18 amostras o percentual é de aproximadamente 15%. Dessa forma, ao comparar ao teor comum de óxido de alumínio (Al_2O_3) presente em rochas graníticas, aproximadamente 14%, os valores encontram-se próximos do que se espera de resíduos provenientes do beneficiamento de rochas de origem granítica.

No que diz respeito aos teores de óxido férrico (Fe_2O_3) encontrados, observa-se que 10 amostras de resíduos apresentaram valores compreendidos entre 4% e 8 %. Uma amostra apresentou valores compreendidos entre 1% e 2% e as demais amostras apresentaram valores ínfimos inferiores a 1%.

4.1.4. Microscopia eletrônica de varredura – MEV

A análise por MEV visa observar a morfologia e arranjo das partículas de cada uma das 22 amostras. Sabe-se que o formato irregular é típico dos processos de corte e beneficiamento de rochas ornamentais. Devido ao curto período de este estudo (3 meses até hoje) ainda não foi realizada essa análise.

5. CONCLUSÕES

Os ensaios de caracterização tecnológica constituem-se em requisito fundamental para sua possível utilização. Verificou-se que os resíduos coletados, em sua totalidade, apresentam granulometria muito fina, com mais de 80% passante na peneira de 0,075 mm. Essa característica é vantajosa se comprovada sua compatibilidade química para o uso como adição a concretos, em especial ao autoadensável, pois permitiria seu uso *in natura*. A composição química dos resíduos coletados revelou uma alta presença de sílica (acima de 50%) em 18 amostras o que pode caracterizar o resíduo como de origem granítica. Deverá ser verificar que essa sílica não é reativa, para poder adicionar o resíduo ao concreto, pois poderia formar um gel higroscópico ao reagir com os hidróxidos alcalinos da mistura que comprometeria a resistência do concreto endurecido. Esse ensaio será realizado na ABCP. Quanto ao teor de ferro, também deverá ser também estudado seu potencial de oxidação na mistura de concreto. Embora os resíduos sejam provenientes de diversos materiais e de

diferentes formas de processamento, suas características, quanto ao seu uso no concreto, são semelhantes (com exceção dos resíduos do beneficiamento de mármore) o que permitiria, se demonstrada a não reatividade sua utilização direta, sem necessidade de classificação prévia. O estudo está em andamento e ensaios no concreto com adição de resíduos em diferentes dosagens e o uso de aditivos ainda serão feitos pelo CETEM e a ABCP.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CETEM/ES, especialmente a Leonardo Cattabriga e a Nuria Fernández Castro, minha orientadora; ao CNPq pelo apoio financeiro; e a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIROCHAS - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. **Balço das Exportações, Importações, Produção e Consumo Interno Brasileiro de Rochas Ornamentais em 2014**. Informe 01/2015. São Paulo. 2015. Disponível em: <<http://www.abirochas.com.br>>. Acesso em: 15 Jun. 2017.
- ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. **O setor brasileiro de rochas ornamentais**. Apresentação em reunião na APEX. Brasília, 2 de março, 2017.
- ARUNTAŞ, H.; GÜRÜ, M.; DAYI, M.; TEKIN, I. Utilization of waste marble dust as an additive in cement production. *Materials and Design*, v.31,p.4039–4042, 2010.
- CAMPOS, A. R. *et al.* Resíduos: tratamento e aplicações industriais. In: VIDAL, Francisco W. H.; CARVALHO, Hélio A. A.; CASTRO, Nuria F. (Ed.). **TECNOLOGIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS: Pesquisa, lavra e beneficiamento**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014. 677p. ISBN: 987-85-8261-005-3
- CORINALDESI, V.; MORICONI, G.; NAIK, T. R. Characterization of marble powder for its use in mortar and concrete. *Construction and Building Materials*, v. 24, p. 113-117, 2010.
- DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário Mineral Estadual do Espírito Santo 2016 Ano Base 2015**. Brasília, 2016.
- GOMES, P. C.; GETTU, R.; AGULLÓ, L.; TENÓRIO, J. J. L. Concreto auto-adensável aliado ao desenvolvimento sustentável do concreto. In: Congresso Brasileiro do Concreto – CBC, 45., Vitória, 2003. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2003.
- GONÇALVES, J. P. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para a produção de concretos**. 2000. 135 p. Dissertação (Mestrado) em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (Brasil).
- JAMKAR, S. S.; RAO, C. B. K. Index of Aggregate Particle Shape and Texture of coarse aggregate as a parameter for concrete mix proportioning. *Cement and Concrete Research* v. 34, n. 11, p. 2021-2027, Nov. 2004.
- JOHN, V.M. **Reciclagem de Resíduos sólidos na Construção Civil: Contribuição à Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento (tese de livre docência)**. São Paulo: EPUSP. 102p. 2000.
- MENEZES, R. R.; FARIAS FILHO, J.; FERREIRA, H. S.; NEVES, G. A., FERREIRA, H. C. Reciclagem de resíduos da construção civil para a produção de argamassas. *Cerâmica*, v. 55, p. 263-270, 2009.
- MORAES, K. A. M. **Otimização do uso de adições minerais para a produção de concreto auto-adensável**. 2010. 210 p. Tese (Doutorado) em Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife (Brasil).

- SOUZA, D. V.; VIDAL, F. W. H. ; CASTRO, N. F. Estudo comparativo da utilização de teares multilâmina e multifio no beneficiamento de granitos comerciais. In: IV Congresso Brasileiro de Rochas Ornamentais & VIII Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2013, Campina Grande. **Anais.....** Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013. v. 1. p. 96-104.
- TOPÇU, I.; BILIR, T.; UYGUNOĞLU, T. Effect of waste marble dust content as filler on properties of self-compacting concrete. **Construction and Building Materials**, v 23, p.1947-1953, 2009.