



Estudo comparativo da caracterização da lama do beneficiamento de rochas ornamentais com e sem granalha de aço

Comparative study of the characteristics of processing sludge of ornamental rocks with and without steel grit

Uliana, J. G. (1); Bastos, R. S. (2); Calmon, J. L. (3); Tristão, F. A. (4); Vieira, G. L. (5); Rodrigues, J. A. (6).

(1) *Mestranda em engenharia civil, PPGEC/UFES.*

(2) *Mestranda em engenharia civil, PPGEC/UFES.*

(3) *Professor Doutor, PPGEC/UFES.*

(4) *Professor Doutor, PPGEC/UFES.*

(5) *Professora Doutora, PPGEC/UFES.*

(6) *Aluna de iniciação científica, UFES.*

*Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES
Av. Fernando Ferrari, nº 514, Goiabeiras, Vitória, ES. CEP 29075-910.*

Resumo

Visando o desenvolvimento sustentável na construção civil e em diversos setores da indústria, são inúmeras as pesquisas fundamentadas nas possibilidades de utilização de subprodutos industriais aplicados a materiais de construção.

A produção de rochas ornamentais gera, no Brasil, aproximadamente 1.600.000 t/ano de resíduo apenas na etapa de desdobramento dos blocos em chapas. Este processo dá-se de duas formas diferentes: em teares tradicionais e teares multifios.

O corte nos teares tradicionais é viabilizado pelo movimento de lâminas metálicas regadas por uma polpa abrasiva composta de água, cal, pó de rocha e granalha de aço. Os teares multifios possuem fios diamantados que cortam os blocos com aspersão de água durante o processo.

Este artigo tem por objetivo comparar as características químicas, físicas e mineralógicas da lama do beneficiamento de rochas ornamentais com granalha de aço (LBRO G) e sem granalha de aço (LBRO D), visando à aplicabilidade na produção de novos materiais para construção civil, principalmente incorporada a matrizes cimentícias, cerâmicas ou betuminosas.

Após secagem, destorroamento e homogeneização, os resíduos foram caracterizados pela análise química por fluorescência de raios X, mineralógica por difração de raios X, forma dos grãos e composição química pontual por microscopia eletrônica de varredura e espectrometria por energia dispersiva e foram realizadas simulações de comportamento térmico com base na composição química por meio de software de equilíbrio termodinâmico de sistemas.

Fisicamente é possível destacar que os resíduos possuem massa específica semelhante, sendo o LBRO G mais fino, pois este retorna ao processo de serragem em hidrociclones enquanto a lama possui viscosidade adequada à abrasão, o que não ocorre ao LBRO D, que é imediatamente descartado.

Os resíduos não podem ser classificados como material pozolânico, visto que o desempenho mecânico das argamassas com substituição de aglomerante por resíduo não atingiu o mínimo estabelecido em norma, porém vale ressaltar que o LBRO D obteve melhores resultados.

Quimicamente estáveis, com compostos predominantemente cristalinos, os resíduos são sílico-aluminosos com presença de óxido de cálcio e óxido férrico, este último presente em maior quantidade no LBRO G devido à adição de cal e granalha na polpa abrasiva.

Nas imagens de microscopia observam-se grãos angulosos em ambos os casos, com predominância de fragmentos pontiagudos no caso do LBRO D.

Diante dos resultados, pode-se afirmar que os resíduos possuem características semelhantes, sendo que as diferenças mais significativas estão relacionadas à menor finura e maior uniformidade dos grãos do LBRO G



associados à sua composição química com maiores teores de cálcio e ferro. Portanto, identifica-se um potencial de aplicação deste resíduo sob as diferentes condições de geração, com e sem granalha de aço, visto que apresenta características que viabilizam sua aplicabilidade como material para a construção civil.

Palavra-Chave: resíduo; rochas ornamentais; mármore; granito; caracterização.

Abstract

Aiming at sustainable development in civil construction and in various industry sectors, there are countless researches based on the possibilities to use of industrial by-products applied to building materials.

The production of ornamental rocks generates, in Brazil, approximately 1,600,000 tonnes / year of waste only at the stage of outspread of the blocks in slabs. This process takes place in two different ways: on traditional looms and multiwire looms.

The cut in traditional looms is made possible by the movement of metal sheets watered by an abrasive slurry consisting of water, lime, stone powder and steel grit. The looms have multiwire diamond wire cutting the blocks with water spray during the process.

This article aims to compare the chemical, physical and mineralogical characteristics of processing sludge of ornamental rocks with steel grit (LBRO G) and without steel grit (LBRO D) in order to applicability in the production of new materials for construction, mainly incorporated into cementitious matrices, ceramics or bituminous.

After drying, milling and mixing, the waste has been characterized by chemical analysis by X-ray fluorescence, mineralogy by XRD, grain shape and chemical composition spot by scanning electron microscopy and energy dispersive spectrometry and simulations were performed thermal behavior based on the chemical composition by means of thermodynamic equilibrium systems software.

Physically, is possible to highlight residues that have similar density, and the particle size LBRO G with even thinner, because it returns to the sawing process in hydrocyclones while having adequate viscosity sludge to abrasion, which doesn't occur when LBRO D, which is immediately discarded.

The waste can't be classified as pozzolanic material, since the mechanical performance of mortars with a binder replacement residue, didn't reach the minimum standard set in, but it's notable that the LBRO D provides better results.

Chemically steady, compounds with predominantly crystalline residues are silicon-aluminous with presence of calcium oxide and ferric oxide, the last one present in larger amount in LBRO G due to the addition of lime and abrasive grit in the pulp.

In the microscope images are observed angular grains in both cases, predominantly sharp fragments in the case of LBRO D.

Considering the results, it can be stated that the waste have similar characteristics, with the most significant differences related to lower fineness and greater uniformity of grain LBRO G associated with its chemical composition with higher levels of calcium and iron. Therefore, it identifies a potential application of this residue under different conditions of generation, with and without steel grit, because it shows characteristics that enable its applicability as a material for construction.

Keywords: waste, ornamental rocks, marble, granite; characterization



1 Introdução

O setor de rochas é considerado uma das mais importantes áreas emergentes de negócios minero-industrias, e o Brasil encontra-se entre os cinco principais produtores de blocos de mármore e granito, atrás apenas da Itália, China, Espanha e Índia. Além disso, o país participa de cerca de 5% da produção e 6% do volume mundial de exportação de blocos de rochas ornamentais (MME, 2009).

No estado do Espírito Santo, o Porto de Vitória é o maior responsável pelas exportações nacionais de rochas, tendo uma participação de 58% do total exportado. Além disso, o estado apresenta-se como um dos maiores produtores de rochas ornamentais do país, sendo responsável por cerca de 50% da produção nacional. (ABIROCHAS, 2009)

Como em todos os níveis de produção, o setor de rochas ornamentais gera uma série de resíduos, desde a extração do bloco na jazida até às etapas finais de polimento e aplicação da peça acabada. A etapa do desdobramento do bloco de rocha em chapas é feita através de equipamentos denominados teares, que podem ser tradicionais ou de fios diamantados. Para o tear tradicional é usado uma lama abrasiva constituída de água, pó de pedra, cal e gralha, que tem como principais funções: lubrificar e esfriar as lâminas de serragem, evitar a oxidação das mesmas, limpar os canais entre as chapas e servir como abrasivo para facilitar o processo de corte. Para o tear de fio diamantado é utilizado apenas água para resfriamento desse fio, e o resíduo gerado é uma lama formada pela água e o pó de pedra produzido pelo desgaste do bloco. Os resíduos de cada tear ficam armazenados nos pátios das serrarias, para eliminação da umidade, e depois são descartados em aterros, o que provoca consideráveis impactos ambientais, como a contaminação de corpos d'água, colmatação do solo, poluição atmosférica, do solo além da poluição visual e estética. Estima-se que, por ano, é gerada cerca de 1,8 milhão de toneladas dessa lama apenas no Brasil (REIS, 2008).

Como o setor encontra-se em franco e contínuo crescimento, conseqüentemente a geração de resíduo se manterá alta, sendo que as legislações ambientais vigentes estão cada vez mais severas e a fiscalização mais eficiente. Portanto, as empresas devem estar alertas quanto à correta gestão dos resíduos produzidos.

Diante do exposto, buscar alternativas para mitigar os impactos ambientais e os elevados custos com aterros se faz necessário, uma vez que a indústria da construção civil consome grandes quantidades de matérias-primas e absorve resíduos de outros setores industriais. Exemplo disso são os diversos estudos do potencial de utilização da lama do beneficiamento de rochas ornamentais (LBRO), não apenas em concretos convencionais (BINICI *et al.*, 2007), mas em misturas betuminosas (AKBULUT *et al.*, 2012), massas cerâmicas (HOJAMBERDIEV *et al.*, 2011), concretos coloridos (MÁRMOL *et al.*, 2010), entre outros.

Diante do potencial de aplicação desse resíduo se faz oportuno o conhecimento de suas características. Sendo assim, este artigo é voltado fundamentalmente para analisar as características físicas, químicas e mineralógicas fazendo um comparativo e levantando as peculiaridades do resíduo gerado em teares tradicionais (LBRO G) e os gerados nos teares de fios diamantados (LBRO D) com o objetivo de viabilizar sua utilização em diversos setores da construção civil.



2 Materiais e métodos

O resíduo empregado nesta pesquisa denominado LBRO foi coletado em uma empresa da Grande Vitória, no Espírito Santo em depósitos específicos para cada um dos tipos de material trabalhado: com granalha (LBRO G) e sem granalha (LBRO D), segundo a NBR 10007 (ABNT, 2004).

Para aplicação na pesquisa, os resíduos passaram por uma secagem inicial a temperatura ambiente durante 48 horas, foram quarteados e secos em estufa por 24 horas em bandejas a temperatura de $(100 \pm 5)^\circ\text{C}$. Após isso, foram destorroados manualmente, homogeneizados e armazenados em sacos plásticos na câmara seca.

Foi verificada a composição química de ambos os resíduos pelo método de fluorescência de raios X e para identificação das fases morfológicas de forma qualitativa foram realizados ensaios de difração de raios X. Imagens microscópicas foram geradas para visualização da forma dos grãos e para captação da composição química de partículas por meio das técnicas de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectrometria por Energia Dispersiva (EDS).

Fisicamente, foram verificadas a massa específica de acordo com a NBR NM 23 (ABNT, 2001), a massa unitária conforme a NBR 12127 (ABNT, 1991), a área específica pelo método de Blaine conforme NBR NM 76 (ABNT, 1998) e a finura por meio da peneira nº 200 de acordo com a NBR 11579 (ABNT, 2012) e pela peneira nº 325 conforme a NBR 9202 (ABNT, 1985) para cada um dos resíduos.

Para verificar o índice de atividade pozolânica conforme requisitos da NBR 12653 (ABNT, 2012) foram realizados os ensaios determinados pelas normas NBR 5751 – Índice de atividade pozolânica com cal (ABNT, 2012) e NBR 5752 – Índice de atividade pozolânica com cimento (ABNT, 2012).

Foram utilizadas 234g de cada uma das quatro frações de areia padrão do IPT (1,2; 0,6; 0,3 e 0,15mm) e a água utilizada foi fornecida pela concessionária pública de abastecimento e usada em quantidade suficiente para obtenção de um índice de consistência da argamassa em 225 ± 5 mm analisado de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1997).

Para a realização do ensaio de índice de atividade pozolânica com cimento Portland foi utilizado o cimento CPV ARI. Apesar da norma NBR 5752 (ABNT 2012) determinar o uso do cimento CP I não foi possível adotá-lo, pois este não se encontra disponível no mercado. Foi substituído, então, pelo CPV ARI por ser o tipo de cimento com menor teor de adições. As características físico-químicas do cimento utilizado na pesquisa foram fornecidas pelo fabricante, sendo a massa específica igual a $3,1 \text{ g/cm}^3$ e a finura Blaine igual a $4803 \text{ cm}^2/\text{g}$.

A cal utilizada foi a CH I conforme determina a norma NBR 5751 (ABNT 2012) com massa específica igual a $2,07 \text{ g/cm}^3$ verificada no LEMAC conforme a NBR NM 23 (ABNT, 2001). O Índice de Atividade Pozolânica com cal (IAP-cal) foi mensurado através da resistência à compressão aos 07 dias de argamassas que contenham parte de resíduo substituindo o hidróxido de cálcio, conforme descrição na Tabela 1.

Tabela 1 – Proporcionamento dos materiais para o ensaio de IAP-cal.

Material componente	Quantidade para cada argamassa	
	Argamassa com LBRO G	Argamassa com LBRO D
Cal	104,0 g	104,0 g
Resíduo	249,2 g	253,7 g
Areia	936,0 g	936,0 g
Água	195,0 g	190,0 g
Consistência	222,5 mm	223,5 mm

O Índice de Atividade Pozolânica com cimento (IAP-cim) foi mensurado através do percentual entre a resistência à compressão aos 28 dias de uma argamassa referência e uma com substituição de cimento por resíduo. As quantidades de cada material para preparação das argamassas seguem na Tabela 2.

Tabela 2 – Proporcionamento dos materiais para o ensaio de IAP-cal.

Material componente	Quantidade para cada argamassa		
	Argamassa Referência	Argamassa com LBRO G	Argamassa com LBRO D
Cimento	312,0 g	202,8 g	202,8 g
Resíduo	0,0 g	87,4 g	89,0 g
Areia	936,0 g	936,0 g	936,0 g
Água	150,0 g	155,0 g	150,0 g
Consistência	226,5 mm	224,0 mm	222,0 mm

3 Resultados e discussões

3.1 Análise física

Os resultados dos ensaios de caracterização física dos resíduos são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de caracterização física.

Ensaio	LBRO G	LBRO D
Umidade (como recebido)	34,44%	38,27%
Massa Específica	2,4804 g/cm ³	2,5253 g/cm ³
Massa Unitária	814,850 x 10 ³ kg/m ³	766,284 x 10 ³ kg/m ³
Finura - Permeabilidade ao Ar	7277,8 cm ² /g	6179,3 cm ² /g
Finura - Peneira 75 µm (nº 200)	8,56%	3,08%
Finura - Peneira 44 µm (nº 325)	18,0%	7,00%

O teor de umidade de ambos os resíduos justifica-se a partir das condições que se encontram as amostras no momento de sua retirada, que ocorre na saída do filtro prensa. Para serem depositados em aterros essa umidade deve ser menor que 20%, conforme as Legislações Ambientais vigentes. A massa específica e a massa unitária do LBRO G indicam que seus grãos são menores que os do LBRO D, possivelmente porque o resíduo com granalha é reaproveitado várias vezes no processo de corte dos blocos e apenas descartado quando a lama se encontra muito viscosa, não sendo possível acrescentar mais água. Com isso seus grãos passam por um processo de abrasão maior que os do

LBRO D, que é utilizado apenas uma única vez no processo de corte, sendo descartado em seguida.

Mediante os resultados do módulo de finura de ambos os resíduos, é possível constatar que se tratam de material pulverulento, mais fino que o cimento, podendo assim atuar como um fíler. Apesar do LBRO G possuir grãos menores que LBRO D, uma quantidade maior daquele material ficou retido nas peneiras nº200 e nº325, possivelmente devido à presença da granalha e a variada distribuição granulométrica desses materiais.

3.2 Análise química

A composição química do resíduo com e sem granalha está descrita na Tabela 4.

Tabela 4 - Composição química dos resíduos analisados na pesquisa.

Resíduo	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	PF
LBRO G	7,57%	63,75%	14,55%	3,72%	0,31%	0,22%	3,58%	5,01%	0,07%	0,06%	0,69%
LBRO D	3,79%	66,80%	13,50%	3,44%	0,93%	0,16%	3,50%	3,83%	0,07%	0,06%	3,50%

Em ambos os resíduos observa-se predominância do quartzo sílica (SiO₂) e, secundariamente, do feldspato alumina (Al₂O₃), o que evidencia serem os resíduos sílico-aluminosos. Em menores teores há presença de minerais do grupo das micas (Na₂O e K₂O), compostos estes presentes no granito. É possível identificar um maior teor de hematita (Fe₂O₃) e óxido de cálcio (CaO) no resíduo LBRO G referente à utilização da granalha de aço como abrasivo e da cal como lubrificante/aglomerante no processo de serragem dos blocos, respectivamente. O óxido de magnésio (MgO) possivelmente é proveniente do desgaste das sapatas de polimento que são fabricados com cimento sorel, formado por óxidos de magnésio e cloro tipicamente adotados na confecção das coroa abrasivas (DE AZEREDO *et al.*, 2008).

Pode-se ainda comparar os requisitos químicos estabelecidos na NBR 12653 (ABNT, 2012) para a classe E de pozolanas. Os dados encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 – Comparativo entre requisitos químicos e dados experimentais.

Propriedades	Limites NBR 12653	Resíduo analisado	
	Pozolana - Classe E	LBRO G	LBRO D
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	≥ 50 %	85,87 %	85,08 %
SO ₃	≤ 5,0 %	0,06 %	0,06 %
Teor de umidade	≤ 3,0 %	0,04 %	0,04 %
Perda ao fogo	≤ 6,0 %	0,69 %	3,50 %
Álcalis disponíveis em Na ₂ O	≤ 1,5 %	3,58 %	3,50 %

A partir dos dados observa-se que, tanto o LBRO G quanto o LBRO D atendem quimicamente aos requisitos de teores de SiO₂, Fe₂O₃ e Al₂O₃ em conjunto, ao percentual máximo de enxofre (SO₃), ao teor limite de umidade e perda ao fogo, não atendendo ao requisito de álcalis disponíveis em Na₂O.

Os resultados do ensaio de resistência à compressão para determinação do IAP-cal relativos à capacidade de participação do material no processo de hidratação de argamassas encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do IAP-cal.

Resíduo	Amostra	Tensão (MPa)	Média
LBRO G	CPcal1 - G	0,90	0,84 MPa
	CPcal2 - G	0,73	
	CPcal3 - G	0,90	
LBRO D	CPcal1 - D	3,45	3,17 MPa
	CPcal2 - D	2,90	
	CPcal3 - D	3,15	

O IAP-cal de cada um dos resíduos é definido pelo valor da tensão de ruptura média dos corpos-de-prova analisados. Os resultados do ensaio de resistência à compressão dos corpos-de-prova analisados para determinação do IAP-cim encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados do ensaio de resistência à compressão do IAP-cim.

Argamassa	Amostra	Tensão (MPa)	Média
Referência	CPcim1 - R	41,57	41,27
	CPcim2 - R	38,85	
	CPcim3 - R	43,39	
LBRO G	CPcim1 - G	22,08	21,63
	CPcim2 - G	22,48	
	CPcim3 - G	20,33	
LBRO D	CPcim1 - D	29,21	26,37
	CPcim2 - D	23,77	
	CPcim3 - D	26,12	

A tensão de ruptura média é a base para o cálculo do IAP-cim. Este índice é a relação entre a resistência dos corpos-de-prova com substituição e a resistência dos corpos-de-prova de controle.

Com base nos dados obtidos pode-se comparar com os requisitos físicos exigidos pela NBR 12653 (ABNT, 2012) para a Classe E de material pozolânico definidas por serem justamente as que não se enquadram nem na classe N (em geral de pozolanas naturais), nem na classe C (em geral de cinzas volantes) produzidas a partir da queima de carvão mineral, conforme Tabela 8.

Tabela 8 – Comparativo entre requisitos físicos e dados experimentais.

Propriedades	Limites NBR 12653	Resíduo analisado	
	Pozolana - Classe E	LBRO G	LBRO D
Material retido na peneira 45 µm	≤ 34 %	18,1 %	7,2 %
Índice de atividade pozolânica:			
- com cimento aos 28 dias (Ref. %)	≥ 75 %	52,5 %	63,9 %
- com o cal aos 7 dias (MPa)	≥ 6,0 MPa	0,84 MPa	3,17 MPa
- água requerida (% máx.)	≤ 110 %	100,0 %	103,3 %

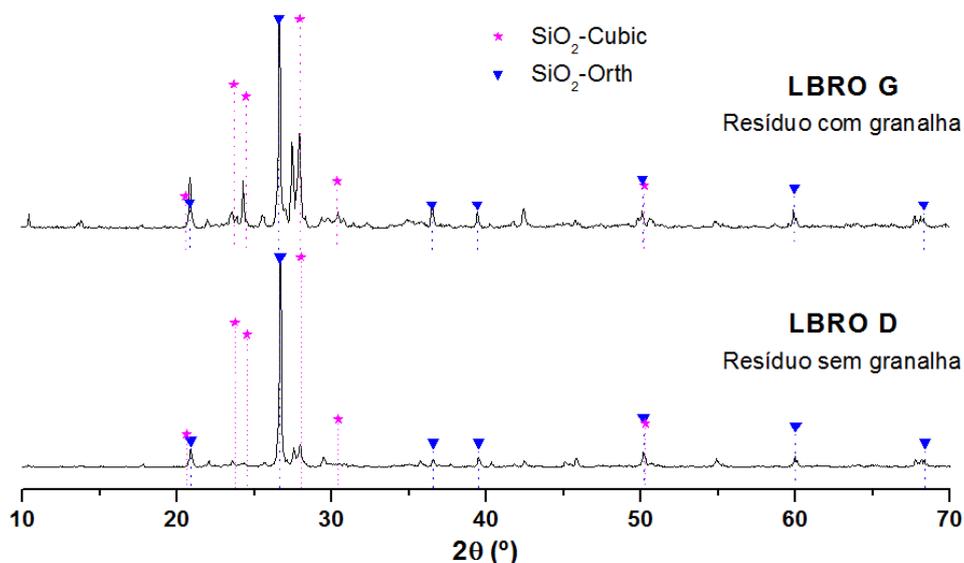
Quanto à finura exigida, o LBRO G e o LBRO D atendem a especificação da norma, diante de sua baixa granulometria justificada pelo processo produtivo que os gera. Nos aspectos da verificação da pozolanicidade em argamassas, tanto com cal como com cimento, ambos os resíduos não apresentaram resultados dentro dos limites

estabelecidos, sendo que o LBRO D apresentou resultados superiores aos do LBRO G, mas ainda assim ambos não se enquadram nos requisitos da NBR 12653 (ABNT, 2012) para serem classificados como material pozolânico. Assim sendo, os resíduos podem ser considerados como fíler, exercendo um efeito físico em concretos ou argamassas.

3.3 Análise mineralógica

As fases morfológicas presentes nos resíduos estão demonstradas nos difratogramas de raios X na Figura 1.

Figura 1: Difratogramas de raios X: LBRO G (com granalha) e LBRO D (sem granalha).



Pode-se observar a presença de sílica (SiO_2) sob as formações cristalinas hexagonal e ortorrômbica e, de maneira geral, é possível identificar picos bem definidos nos difratogramas, característica típica de compostos cristalinos quimicamente estáveis e portanto com baixa possibilidade de atividade reativa e consequentemente pozolânica.

3.4 Análise de microscopia

As micrografias apresentadas na Figura 2 e Figura 3 de ambos os resíduos mostram que os grãos não apresentam uma forma definida possuindo, em geral, um formato anguloso devido ao processo de serragem das rochas, com grãos de dimensão entre 0,8 a 25 μm , e alguns um pouco maiores na ordem dos 60 μm .

Particularmente o LBRO G apresenta-se com grãos menores e mais aglomerados, possivelmente devido ao processo de serragem com a utilização de hidrociclones que promovem uma circulação da lama aspergida com a inclusão da cal havendo ainda um aproveitamento da lama em cortes posteriores quando ainda há capacidade abrasiva, o que indica, portanto uma redução dos grãos do material.

Figura 2: Imagem aumentada 1000 vezes (MEV) – LBRO G.

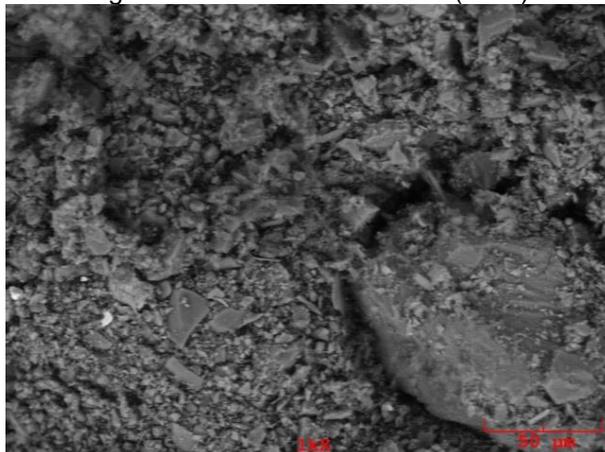
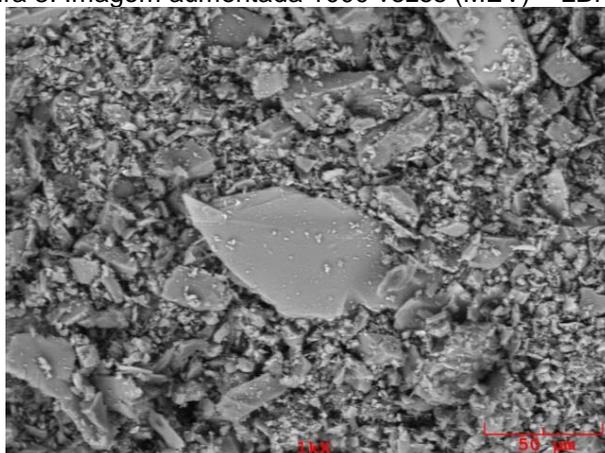


Figura 3: Imagem aumentada 1000 vezes (MEV) – LBRO D.



O ensaio de Espectrometria por Energia Dispersiva (EDS) foi realizado em diferentes pontos e regiões das amostras. Para o LBRO G identificadas na Figura 4 e os resultados para o percentual dos elementos químicos presentes encontram-se na Tabela 9.

Figura 4: Regiões analisadas no EDS para o LBRO G.

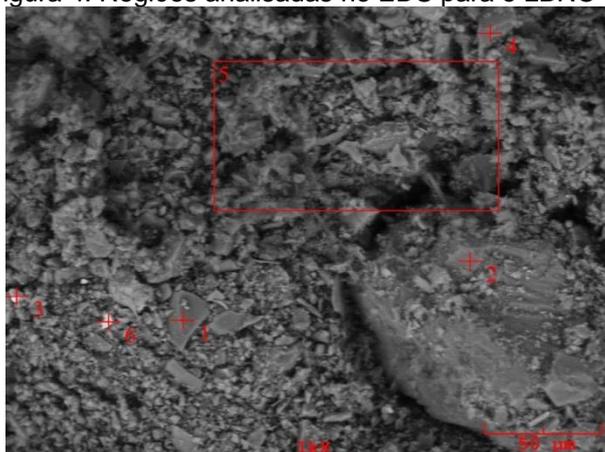


Tabela 9: Resultado da análise química do EDS para o LBRO G.

LBRO G								
-	O	Mg	Al	Si	S	K	Ti	Fe
Ponto 1	32,7	0,094	0,758	65,235	0,289	0,03	0,073	0,155
Região 5	36,723	0,27	10,119	35,133	0,195	4,771	0,186	3,246
Ponto 6	10,334	0,186	2,386	13,411	0,293	0,688	0,109	64,919

Para o LBRO D os pontos e a região analisada estão identificados na Figura 5 e os resultados para o percentual dos elementos químicos presentes encontram-se na Tabela 10.

Figura 5: Regiões analisadas no EDS para o LBRO D.

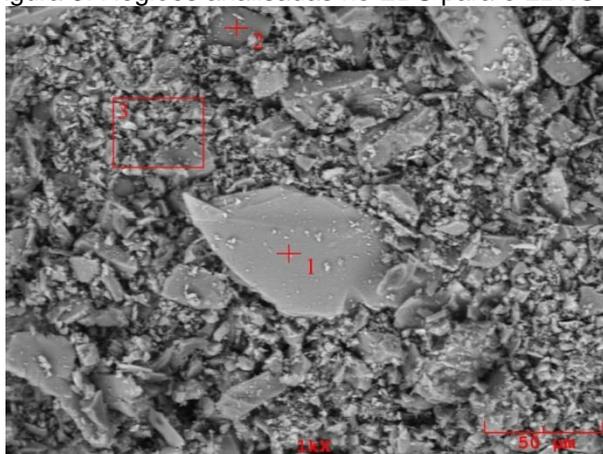


Tabela 10: Resultado da análise química do EDS para o LBRO D.

LBRO D								
-	O	Mg	Al	Si	S	K	Ti	Fe
Ponto 1	23,551	4,86	13,48	30,124	0,31	10,382	2,605	13,236
Ponto 2	43,946	0,435	19,166	26,364	0,215	6,722	0,113	1,316
Região 3	37,817	0,667	6,971	43,802	0,236	2,742	0,193	0,585

Observa-se que os dois resíduos são constituídos, principalmente de silício (Si), seguido por alumínio (Al) e potássio (K). O alto teor de ferro (Fe) no ponto 6 analisado no LBRO G é devido a presença de partícula de granalha de aço. Tais resultados complementam os encontrados através da espectrometria de fluorescência de raios X, indicando, mais uma vez, serem os resíduos sílico-aluminosos.

4 Conclusões

Com os resultados obtidos neste trabalho verificou-se que a lama de rochas ornamentais é um material sílico-aluminoso com predominância de compostos cristalinos em sua formação, indicando estabilidade química. O aspecto dos seus grãos é anguloso e a



granulometria é variada, devido ao processo de serragem. No resíduo com granalha, LBRO G, há a presença de partículas de aspecto diferenciado que são resultantes das granalhas utilizadas no corte.

Quanto aos aspectos físicos, os valores encontrados para massa específica e massa unitária indicam que o resíduo sem granalha, LBRO D, possui grãos maiores que o LBRO G, fato justificado pela abrasão recorrente sofrida pelo resíduo com granalha que é reutilizado no corte de vários blocos. A finura demonstra que se trata de material pulverulento, o que indica possibilidade de aplicação como fíler de ambos os resíduos.

A análise não indica a viabilidade técnica do uso do LBRO como material pozolânico, visto que ambos os resíduos não apresentaram o desempenho mecânico necessário, indicando um melhor desempenho na utilização do LBRO D para produção de argamassas, mas sem atividade pozolânica comprovada.

Sabendo que o resíduo foi classificado como Classe II A – Não Perigoso – Não Inerte, pode-se indicar a sua aplicabilidade a fabricação de materiais através da incorporação em matrizes cimentícias ou cerâmicas. Porém, outros estudos devem ser realizados de forma a conhecer melhor as propriedades específicas e o desempenho necessário para cada aplicação.

5 Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer aos bolsistas e técnicos do Laboratório de Ensaio em Materiais de Construção (LEMAC - UFES) pelo auxílio no desenvolvimento dos ensaios, ao Laboratório de Materiais Carbonosos e Laboratório de Plasma Térmico (LMC/LPT - UFES) pela colaboração com ensaios de difração de raios X, ao Laboratório de Caracterização de Superfícies dos Materiais (LCSM - UFES) pelos ensaios de MEV e EDS, à equipe do Laboratório Químico da VALE pelo ensaio de composição química e à CAPES pela concessão de bolsa aos autores.



2 Referências

AKBULUT, H.; GÜRER, C.; CETIN, S.; ELMACI, A. Investigation of using granite sludge as filler in bituminous hot mixtures. **Constructions and Building Materials**. V 36, pp. 430-436, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **Rochas Ornamentais no Século XXI: Balanço das Exportações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2008**. São Paulo, ABIROCHAS, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR NM 23: Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 12127: Gesso para construção - Determinação das propriedades físicas do pó - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR NM 76: Cimento Portland - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine)**. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 11579: Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)**. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 9202: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da finura por meio da peneira 0,044 mm (nº 325) - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1988.

_____. **NBR 12653: Materiais pozolânicos - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 5751: Materiais pozolânicos - Determinação de atividade pozolânica - Índice de atividade pozolânica com cal**. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 5752: Materiais pozolânicos - Determinação de atividade pozolânica com cimento Portland - Índice de atividade pozolânica com cimento**. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1996.

BINICI, H.; KAPLAN, H.; YILMAZ, S. Influence of marble and limestone dusts as additives on some mechanical properties of concrete. **Scientific Research and Essay**. V 2 (9), pp. 372-379, set. 2007.

DE AZEREDO, S.R.; BOBROVNITCHII, G.S.; GUIMARÃES, R.S.; FILGUEIRA, M. Desenvolvimento de um novo composto abrasivo de desbaste de rochas ornamentais. **Revista Matéria**. V. 13, n. 1, pp. 203 – 208, 2008.

HOJAMBERDIEV, M.; EMINOV, A.; XU, Y. Utilization of muscovite granite waste in the manufacture of ceramic tiles. **Ceramics International**. V 37, pp. 871-876, 2011.

MÁRMOL, I.; BALLESTER, P.; CERRO, S.; MONRÓS, G.; MORALES, J.; SÁNCHEZ, L. Use of granite sludge wastes for the production of coloured cement-based mortars. **Cement & Concrete Composites**. V 32, pp. 617-622, 2010.



Anais do 55º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2013
Outubro / 2013



@ 2013 - IBRACON - ISSN 2175-8182

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Relatório Técnico 33: Rochas Ornamentais e de Revestimento.** MME. Brasília, SGM/BIRD. 2009.

REIS, A.S., **Estudo do aproveitamento do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais na fabricação de ladrilho hidráulico piso tátil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em engenharia civil, Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.