

Estudo da Viabilidade Técnica da Utilização de Resíduo do Beneficiamento de Granito e Escória de Aciaria LD na Fabricação de Cimento Portland

Adriano da Costa Borges

Bolsista de Iniciação Científica, Licenciatura em Física, Centro Universitário São Camilo-ES

Mônica Castoldi Borlini

Orientadora, Engenheira Química, D. Sc.

José Roberto de Oliveira

Co-orientador, Eng. Metalúrgico, D. Sc.

Resumo

Os resíduos do beneficiamento de granito e escória de aciaria LD são abundantes e constituídos principalmente por sílica (SiO_2) e óxido de cálcio (CaO), respectivamente. O objetivo desse trabalho foi caracterizar o resíduo de granito para ajuste da composição química da escória de aciaria LD, visando avaliar a viabilidade técnica dessa mistura para a fabricação de cimento Portland. Para isso, foram realizados ensaios de composição química, tamanho de partículas e difração de raios-X (DRX) no resíduo de granito e DRX e microscopia eletrônica de varredura (MEV) na mistura fundida. A mistura desses resíduos foi fundida a aproximadamente 1350°C e resfriada no próprio forno. Este novo produto apresentou concentração dos principais óxidos na faixa de valores da escória de alto forno, que já é utilizada para a produção de cimento Portland e as fases akermanita e gehlenita, consideradas ideais para atividade hidráulica das escórias. Assim, o ajuste da composição química da escória de aciaria LD pode ser uma nova rota para o aproveitamento do resíduo de granito.

1. Introdução

1.1 Resíduos de granitos

No Brasil, há grandes pólos de extração e beneficiamento de rochas ornamentais como, por exemplo, os Estados do Espírito Santo e Minas Gerais. Em 2007, a produção brasileira de rochas ornamentais e de revestimento totalizou cerca de 8,0 milhões de toneladas (ABIROCHAS, 2008). No Estado do Espírito Santo são geradas cerca de 60 mil toneladas/mês (massa úmida) de resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais (CALMON & SILVA, 2006). Esses resíduos representam um problema, principalmente ambiental, quando não há uma destinação final, no mínimo adequada e legalizada. Com a finalidade de aproveitamento dos resíduos de rochas, várias pesquisas têm sido realizadas.

A seguir, são destacados alguns dos produtos que têm sido pesquisados com a adição dos resíduos de rochas em sua composição, na área da construção civil.

- Cerâmica vermelha (VIEIRA *et al.*, 2003), Argamassa (TENÓRIO *et al.*, 2005; AFONSO, 2005)
- Tijolos de solo-cimento (CALMON *et al.*, 1998; MIRANDA *et al.*, 2007)
- Ladrilhos hidráulicos (REIS & TRISTÃO, 2009), Lã mineral (ALVES, 2008a)
- Concreto auto-adensável e concretos (LISBÔA, 2004; ALVES, 2008b)

Escória de aciaria LD

A escória de aciaria LD é um subproduto do processo de fabricação de aço nos conversores LD (*Linz-Donawitz*) (MACHADO, 2000 apud SOUSA, 2007). A alta relação CaO/SiO_2 (em torno de 4) presente nesta escória, representa a principal restrição quanto ao seu aproveitamento para produção de certo produto, como o cimento (GEYER, 1996 apud BRANDÃO & PINTO JÚNIOR, 2009).

Cimento Portland

O Cimento Portland é constituído principalmente pelo clínquer, dependendo do tipo de cimento (NASCIMENTO, 2008). O clínquer possui como composição principal: silicato tricálcico $(\text{CaO})_3\text{SiO}_2$ e silicato dicálcico $(\text{CaO})_2\text{SiO}_2$, ou alita e belita, respectivamente (TENÓRIO *et al.*, 2003).

Desde 1960 já se utiliza para a produção de cimento, a escória de alto-forno, subproduto da produção do ferro-gusa no alto-forno, e que apresenta a relação CaO/SiO_2 entre 0,9 e 1,2 (BRANDÃO & PINTO JÚNIOR, 2009). Uma alternativa para que se possa também utilizar a escória de aciaria para a produção de cimento é ajustar a sua composição para que a relação CaO/SiO_2 se assemelhe a da escória de alto-forno. Essa correção pode ser feita por meio da mistura com o resíduo de granito (PINTO JUNIOR *et al.*, 2010). Esse resíduo possui granulometria fina e é constituído principalmente por sílica (SiO_2), em torno de 60% (VIEIRA *et al.*, 2003).

Entretanto, existem outros requisitos que determinam a viabilidade da produção do cimento a partir de escórias. Um deles é obtenção de uma escória vítrea (amorfa) após a fusão e resfriamento rápido da mistura desses resíduos, e o outro é a presença das fases cristalinas akermanita ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$) e gehlenita ($\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{Si}_2\text{O}_7)$), consideradas as fases mineralógicas ideais para a atividade hidráulica das escórias (BATTAGIN & SCANDIUZZI, 1990 apud BRANDÃO & PINTO JÚNIOR, 2009). Isso ocorre com a escória de alto forno, mas não com os resíduos de granito e escória de aciaria LD separadamente (POLESE *et al.*, 2006).

2. Objetivo

O objetivo desse trabalho foi caracterizar o resíduo do beneficiamento de granito e estudar a viabilidade técnica da utilização desse resíduo para ajustar a composição química da escória de aciaria LD, visando à fabricação de cimento Portland. Para avaliar a viabilidade, foi realizada também a caracterização da mistura dos resíduos, após fusão e resfriamento da mesma dentro do forno, para verificar se houve a formação das fases akermanita e gehlenita.

3. Materiais e métodos

3.1 Amostras

Foram coletadas amostras de escória de aciaria gerada nos conversores LD, da Arcelor Mittal Tubarão, e do resíduo do beneficiamento (serragem) de granito por fio diamantado (multifio).

3.2. Caracterização do resíduo de granito e da escória de aciaria LD

O resíduo de granito foi caracterizado por meio dos ensaios de difração de raios-X (DRX), análise química e de tamanho de partícula. Para os ensaios de DRX, as amostras foram passadas a 74 μm (200 malhas).

O difratograma de raios-X (DRX) do resíduo de granito foi obtido pelo método do pó, coletado em um equipamento Bruker-AXS D5005 equipado com espelho de Goebel para feixe paralelo de raios X, nas seguintes condições de operação: radiação $\text{Co K}\alpha$ (35 kV/40 mA); velocidade do goniômetro de $0,02^\circ$ 2θ por passo com tempo de contagem de 1,0 segundo por passo e coletados de 5 a 80° 2θ . A análise de tamanho de partícula foi realizada no equipamento Mastersizer 2000, acessório MU da Malvern Instruments.

A análise química da escória de aciaria LD foi realizada nos laboratórios da empresa Arcelor Mittal Tubarão (Tabela 1).

Tabela 1. Composição química da escória de aciaria LD (% em peso).

Componentes	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	MnO	P ₂ O ₅	S	Outros
(%)	46,00	10,0	1,50	7,00	27,00	6,00	2,00	0,04	-

Fonte: Arcelor Mittal Tubarão.

A partir da composição química, pode-se determinar a quantidade necessária de cada resíduo, para a preparação da mistura estudada nesse trabalho, com a basicidade pretendida, basicidade = 1.

3.3. Preparação e processo de fusão das misturas

A quantidade de cada amostra utilizada na mistura, para atingir a basicidade 1, foram: 65,5 g de resíduo de granito e 100 g de escória de aciaria.

O processo de fusão da mistura foi realizado no forno à resistência elétrica, FL 1300, pertencente ao laboratório de tratamento térmico do Instituto Federal do Espírito Santo – IFES, unidade de Vitória. A mistura foi colocada em cadinho de grafita (carbono) e, posteriormente, levada ao forno, onde esse atingiu a temperatura de aproximadamente 1350°C , permanecendo nessa temperatura por aproximadamente 40 minutos, para a fusão da mistura. Após esse período, o forno foi desligado e a mistura permaneceu em seu interior, para que houvesse o resfriamento lento da mesma, e posteriormente, ser verificado se as fases akermanita e gehlenita foram formadas.

3.4. Caracterização da mistura

O novo produto formado, após a fusão e solidificação da mistura, foi moído inicialmente em moinho de ágata, e, posteriormente, no almofariz e passado em peneira a 63 μm (230 malhas), para preparação da amostra a ser ensaiada. A amostra foi submetida a ensaios de DRX, análises por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectrometria a dispersão de energia (EDS). O DRX foi realizado nas mesmas condições citadas anteriormente, para o resíduo de granito. Para as análises de MEV e EDS, as amostras foram antes metalizadas com prata, no metalizador Baltec SCD 005.

4. Resultados e Discussão

A Tabela 2 apresenta os resultados da composição química do resíduo de granito. Pode-se verificar no resíduo de granito, a alta concentração de sílica (SiO_2), que representa aproximadamente 60% da composição e a baixa concentração de óxido de cálcio (CaO), menos de 5%. Isso é um indicativo da sua utilização para o ajuste da basicidade (CaO/SiO_2) da escória de aciaria LD, que possui alta concentração de CaO , 46%, e 10% de SiO_2 , conforme a Tabela 1.

Tabela 2. Composição química do resíduo de granito (% em peso).

Composição	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	MnO	Fe_2O_3	Na_2O	K_2O	TiO_2	B_2O_3	Outros (Perda Fogo, óxidos)
(%)	59,6	4,6	1,8	18,1	0,05	1,8	3,1	3,7	0,93	0,48	5,8

O resultado de DRX mostrou que os picos característicos do resíduo de granito são: quartzo, biotita, microclina e albita.

Foi verificado, pelo resultado do ensaio de distribuição de tamanho de partículas do resíduo de granito, que 10% das partículas do resíduo possuem diâmetro inferior a 3,66 μm , 50% das partículas, diâmetro inferior a 29,54 μm e 90% das partículas, diâmetro inferior a 255,04 μm . Já a escória de aciaria apresentou 10% das partículas com diâmetro inferior a 10,02 μm , 50% das partículas da escória possuem diâmetro inferior a 94,16 μm e 90% das partículas, diâmetro inferior a 394,91 μm . Como observado, o resíduo de granito apresenta tamanho de partículas menor que a escória.

Caracterização da mistura

Os principais óxidos presentes na mistura são: CaO (29,61%), SiO_2 (29,63%), Al_2O_3 (8,07%), MgO (4,94%), FeO (16,3%) e MnO (3,64%). De acordo com esses dados, nota-se que os óxidos que estão em maior quantidade na mistura são os óxidos de cálcio e silício, que juntos correspondem, aproximadamente a 59% da massa da mistura. Observa-se um aumento na quantidade de SiO_2 com o ajuste da composição química da escória de aciaria por meio da adição de resíduo de granito. A quantidade dos óxidos de cálcio, silício, magnésio e alumínio, após o ajuste de composição, estão na faixa de valores apresentados para a escória de alto forno (PINTO JUNIOR *et al.*, 2010).

A Figura 1 apresenta o difratograma de raios-X da mistura, após fusão. Pode ser observado que as fases akermanita e gehlenita foram identificadas no difratograma. Essas fases também são encontradas nas escórias de alto-forno (PINTO JUNIOR *et al.*, 2010). A presença dessas fases é um indicativo da viabilidade técnica da utilização da mistura dos resíduos na fabricação do cimento. Outro indicativo importante para a viabilidade técnica da utilização da escória do conversor LD, na fabricação do cimento, é a obtenção de uma escória vítrea ou amorfa. Isso foi mostrado que ocorre, em estudos realizados por Pinto Júnior *et al.* (2010).

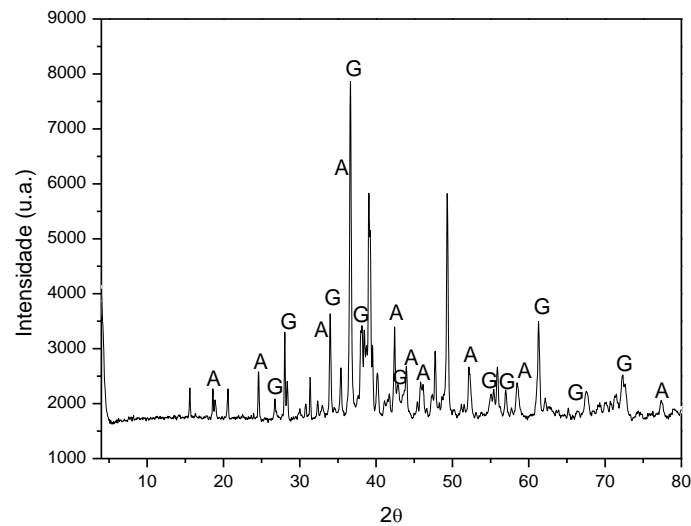


Figura 1. Difratoograma de raios-X da mistura. A = Akermanita, G = Gehlenita

Na análise de MEV foi possível observar a morfologia e textura da mistura fundida e por meio do EDS, podem-se confirmar os elementos presentes na mesma. A Figura 2 mostra a micrografia e o EDS da nova escória formada após a fusão da mistura e resfriamento lento no forno. Observou-se uma textura heterogênea e regiões amorfas. Verificou-se também, a uniformidade da composição da amostra, e todos os elementos necessários para a formação das fases akermanita e gehlenita, as quais foram identificadas pelo DRX mostrado na Figura 1.

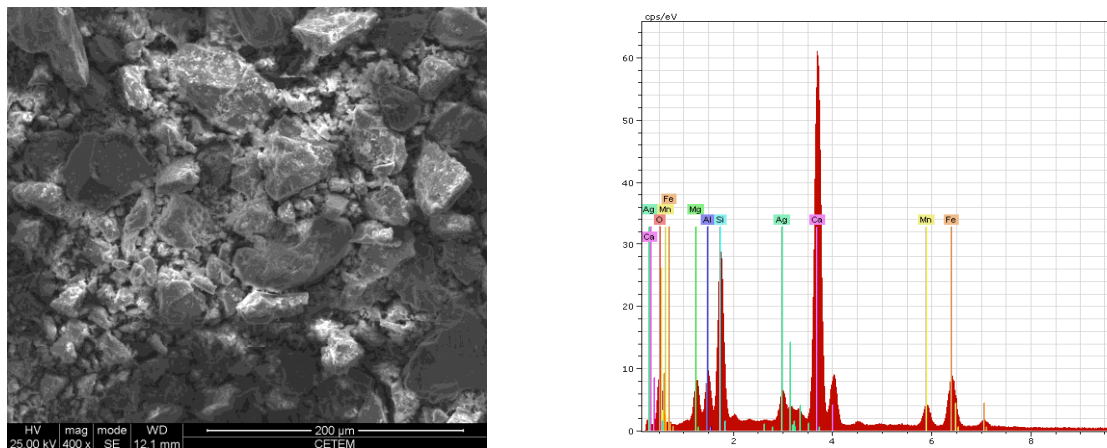


Figura 2. Micrografia com aumento de 400 x, e EDS da mistura fundida.

5. Conclusão

O ajuste da composição química da escória de aciaria por meio da adição de resíduo de granito mostrou-se eficiente. Observou-se a formação das fases cristalinas akermanita e gehlenita na mistura fundida, composta por ambos resíduos.

Com os resultados desse trabalho, pode-se concluir que a mistura do resíduo de granito e da escória de aciaria LD, com basicidade de 1, constitui em uma alternativa de utilização de ambos os resíduos e indica sua viabilidade técnica, como a escória de alto forno, na fabricação de cimento Portland.

6. Agradecimentos

Agradeço ao CETEM e o IFES o apoio e equipamentos utilizados, ao CNPq pela bolsa concedida, à orientadora Mônica Borlini e ao co-orientador José Roberto de Oliveira pela dedicação.

7. Referências Bibliográficas

ABIROCHAS – Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. “Situação Atual e Perspectivas Brasileiras no Setor de Rochas Ornamentais”, 2008, Informe nº 2.

AFONSO, W. M. **Caracterização de Resíduo de Corte de Rochas na Produção de Argamassas**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes (Brasil).

ALVES, J. O. **Processo de Reciclagem da Escória de Aciaria e do Resíduo de Corte do Granito Visando a Produção de Lã Mineral**. 2008a. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto. Rede Temática em Engenharia de Materiais, Ouro Preto (Brasil).

ALVES, M. S. **Estudo das Características e da Viabilidade do Uso de Resíduos Gerados no Polimento de Rochas Graníticas como Adição em Concretos**. 2008b. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte (Brasil).

BATTAGIN, A. F.; SCANDIUZZI, L. A Utilização da Escória granulada de Alto Forno como Agregado Miúdo. Associação Brasileira de Cimento Portland, São Paulo, 1990. Boletim nº 35.

BRANDÃO, B. P.; PINTO JÚNIOR, L. A. B. **Estudo da Viabilidade Técnica do Aproveitamento de Resíduos Provenientes do Corte de Granito para Ajuste da Composição Química da Escória de aciaria LD, Visando à Produção de Clínquer de Cimento Portland**. 2009. 79 p. Monografia (conclusão do curso) - Instituto Federal do Espírito Santo. Vitória (Brasil).

CALMON, J. L.; SILVA, S. A. C. da. Mármore e Granito no Espírito Santo: Problemas Ambientais e Soluções. In: DOMINGUES, A. F. A Gestão dos Recursos Hídricos e a Mineração. Brasília, DF, Brasil: Agência Nacional de Águas, 2006. p. 200-231.

CALMON, J. L. et al.. Aproveitamento do Resíduo de Corte de Granito para a Produção de Tijolos de Solo-Cimento. In: VII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO QUALIDADE NO PROCESSO CONSTRUTIVO, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ENTAC, 1998. p. 900-907.

GEYER, T. R., DAL MOLIN, D., VILELA, A. C. F. Possibilidades e Fatores Limitantes da Reutilização de Escórias de Aciaria na Construção Civil, In: 51º CONGRESSO ANUAL DA ABM – Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 1996, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABM, 1996. p. 305-314. v. 4.

LISBÔA, E. M. **Obtenção do Concreto Auto-Adensável Utilizando Resíduo do Beneficiamento do Mármore e Granito e Estudo de Propriedades Mecânicas**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Maceió (Brasil).

MACHADO, A.T. **Estudo Comparativo dos Métodos de Ensaio para Avaliação da Expansibilidade das Escórias de Aciaria**. 2000. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, USP. São Paulo (Brasil).

MIRANDA, R. A. C.; BACARJI, E.; FERREIRA, R. C. Estudo da Aplicação de Resíduo de Beneficiamento de Mármore e Granito em Tijolos de Solo-Cimento. In: IV ENCONTRO NACIONAL E II ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS (ELECS), 2007, Campo Grande, MS. **Anais...** Campo Grande: ANTAC, 2007. p. 33- 42.

NASCIMENTO, G. B. do. **Caracterização e Utilização de Pó-de-Pedra em Revestimentos para Restauração de Edificações Históricas em Estilo Art Déco**. 2008. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte (Brasil).

PINTO JUNIOR, L.A.B.; GRILLO, F.F.; ARRIVABENE, L.F.; VIEIRA, E.A.; TENÓRIO, J.A.S.; OLIVEIRA, J.R. Adequação da Composição Química da Escória de Aciaria LD para a Fabricação de Cimento Portland. In: 41º SEMINÁRIO DE ACIARIA INTERNACIONAL, 2010, Resende, **Anais...** Resende – RJ, p. 368-379.

POLESE, M.O.; Carreiro, G.L.; Silva, M.G.; Silva, M.R. **Caracterização Microestrutural da Escória de Aciaria**. Revista *Materia* [online]. 2006, v. 11, n. 4, pp. 444 – 454. Disponível em: <<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10814>>. Acesso em: 28 mai. 2010.

REIS, A. S.; TRISTÃO, F. A. Análise Comparativa das Propriedades Físicas e Mecânicas de Ladrilho Hidráulico Piso Tátil com Aproveitamento de Resíduo de Corte de Granito e Ladrilho Hidráulico Piso Tátil Convencional. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO, 2009, Feira de Santana. **Anais...** Feira de Santana: ENARC, 2009. p. 166-178.

SOUSA, G. M. de. **Estudo Experimental de Escórias de Aciaria para Fins de Caracterização Tecnológica como Lastro Ferroviário em Vias Sinalizadas**. 2007. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto (Brasil).

TENÓRIO, J. J. L.; LAMEIRAS, R. de M.; LIMA, L. A. de. Desempenho de Argamassas Produzidas com Resíduo do Beneficiamento de Chapas de Granito (RBCG). In: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 2005, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis: SBT, 2005. p. 34- 44.

TENORIO, J. A. S.; ARAÚJO, F. G. da S.; PEREIRA, S. S. R.; FERREIRA, A. V.; ESPINOSA, D. C. R.; BARROS, A. **Decomposição da Fase Majoritária do Cimento Portland - Parte II: Alita com Adições de Fe e Al**. *Rem: Rev. Esc. Minas* [online]. 2003, vol.56, n.2, p. 113-117. ISSN 0370-4467.

VIEIRA, C. M. F.; SOARES, T. M.; MONTEIRO, S. N. Efeito da Adição de Resíduo do Corte de Granito de Santo Antônio de Pádua-RJ em Massa Cerâmica Vermelha. In: 47º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 2003, João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa: Associação Brasileira de Cerâmica (ABC), 2003. p. 1109.