

PRODUÇÃO MAIS LIMPA NO TRATAMENTO DE MINÉRIOS: APROVEITAMENTO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO NA REGIÃO DE POÇOS DE CALDAS/MG

SILVEIRA, M.L.¹, GUARDA, D.H.¹, BERGERMAN, M.G.², DEL ROVERI, C.², NAVARRO, F.C.²

¹Universidade Federal de Alfenas Campus Poços de Caldas. marinamls7@hotmail.com

²Universidade Federal de Alfenas Campus Poços de Caldas. carolina.roveri@unifal-mg.edu.br

RESUMO

A mineração é uma área de fundamental importância na economia brasileira, porém ela possui alguns impactos em relação ao meio ambiente, principalmente pelos bens minerais serem extraídos da crosta terrestre e a sua extração e beneficiamento gerarem significativo volume de rejeitos. A região de Poços de Caldas apresenta entre outras atividades mineradoras a extração de rochas ornamentais, sendo necessária a busca de alternativas para a utilização do rejeito destas. No presente trabalho foi feito um estudo objetivando reaproveitar o resíduo gerado nas minerações de rochas ornamentais da região, especificamente o resíduo gerado na extração de sienito. Foram estudadas algumas formas de reaproveitamento como o uso agrícola, cerâmico e na fabricação de lã mineral. Inicialmente, foram realizados ensaios para a determinação da distribuição granulométrica, análise química e *work index* do material. Para o estudo no uso cerâmico, foram feitas amostras contendo diferentes quantidades de argila e de pó de rocha (sienito) e com estas foram feitos corpos de prova a fim de efetuar ensaios como o de perda ao fogo, retração linear de queima e absorção de água. Os resultados encontrados mostraram que o material em análise não é apropriado para o uso agrícola, e tem grandes probabilidades de ser usado na fabricação de lã mineral e na indústria cerâmica.

PALAVRAS-CHAVE: resíduo; rocha ornamental; sienito; aproveitamento.

ABSTRACT

Mining is an important area in the Brazilian economy, but it has some impact in relation to the environment, especially due to extraction of minerals from the earth's crust and its extraction and processing generate high volumes of tailings. The Poços de Caldas region has, among other mining activities, the extraction of dimension stones, bringing the need to search for alternatives to the use of the waste resulting from these activities. In the present work a study was conducted aiming to reuse the waste generated in mining activities of dimension stones from the region, specifically the tailings generated in the extraction of syenite. Were studied some forms of reuse as agricultural use, ceramic and manufacture of mineral wool. Initially, tests were conducted to determine the particle size distribution, chemical analysis and work index of the material. To study the ceramic use samples were made containing different amounts of clay and rock powder (syenite), from which were made in order to carry out tests as stone fire, linear shrinkage firing and water absorption. The results showed that the material under analysis is not suitable for agricultural use and is highly likely to be used in the manufacture of mineral wool and ceramic industry.

KEYWORDS: tailings; dimension stone; syenite; reutilization.

1. INTRODUÇÃO

A mineração possui grande importância para a economia nacional e para o desenvolvimento do país, tendo em vista que fornece matérias-primas para diversos setores, como as indústrias de transformação, fertilizantes, cimento, construção civil e petroquímica. Levando em conta o meio ambiente, a mineração apresenta alguns impactos negativos, tendo em vista que os bens minerais são extraídos da crosta terrestre gerando alteração na estrutura física do relevo.

Além dos impactos ambientais causados na extração do minério, há também os causados pela quantidade de resíduos gerados. Nas mineradoras este número é significativo e seu aproveitamento ainda se encontra bastante reduzido, sendo necessária a busca de alternativas para utilização desta matéria prima.

A região de Poços de Caldas, localizada no estado de Minas Gerais apresenta, entre outras atividades mineradoras, a extração de rochas ornamentais, principalmente na porção sul do estado onde se têm o afloramento do Maciço Sienítico Pedra Branca. Esta extração gera significativa geração de rejeitos, já que a recuperação observada nas lavras da região é de aproximadamente 20%. Por este motivo, é importante que se estudem aplicações para estes materiais, atualmente dispostos em pilhas de estéril.

Estes rejeitos possuem uma série de possíveis aplicações, detalhadas a seguir.

1.1. Uso Agrícola

Os solos, de maneira geral, não apresentam características químicas naturais adequadas para produção agrícola, levando-os a uma grande dependência de corretivos. Os corretivos são compostos por diversos elementos minerais, as características de seu uso são determinadas pelo tipo de cultivo e pelas carências do solo a ser utilizado (LOUREIRO *et al.*, 2009). Malavolta (1980) afirma que dentre todos os elementos minerais existentes, alguns são necessários à vida da planta, os chamados essenciais (por exemplo o P, N, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn). Existem também os benéficos ou úteis (por exemplo o Na e Si) e os que pode ou não ser tóxicos, dependendo de sua concentração (por exemplo o Al, Cr, I, Pb, F).

1.2. Lã Mineral

Lã mineral é o nome dado para materiais inorgânicos de isolamento feito de fibras amorfa, formada por silicatos e que podem ser ou não impregnadas com resinas poliméricas. A lã mineral é classificada dependendo da matéria-prima que é utilizada na sua fabricação, podendo ser: lã de rocha, lã de vidro, ou de outro mineral. Seu principal uso é como elemento para isolamento térmico e acústico, atendendo ao mercado consumidor tanto industrial como comercial, com aplicações na construção civil, automotiva, eletroeletrônica, entre outros (LUOTO *et al.*, 1998 e MARABINI *et al.*, 1998).

Por possuir estrutura vítrea a lã mineral suporta quantidades de diferentes elementos em sua solução, sendo, portanto ideais para assimilar resíduos complexos em suas composições. Tal fato faz com que estes materiais possam ser utilizados como uma forma de reaproveitamento de resíduos industriais (MARABINI *et al.*, 1998). Os processos de produção das lãs são semelhantes, a diferença entre eles se deve à matéria-prima utilizada, sendo em todos os casos a sílica (SiO₂) o principal componente.

1.3. Cerâmica

Cerâmica compreende todos os materiais inorgânicos, não metálicos, formados por elementos metálicos e não metálicos, o que possibilita uma variedade de combinação dos átomos destes elementos e de arranjos estruturais para a mesma combinação. Possui alta dureza, alta resistência química, alto ponto de fusão, baixa condutividade elétrica e térmica e é obtida geralmente após tratamento térmico em temperaturas elevadas (LINO *et al.*, 2006 e ZANARDO *et al.*, 2012). Por constituir um setor amplo e heterogêneo, os materiais cerâmicos são divididos em segmentos, de acordo com diversos fatores como matérias-primas, propriedades e áreas de utilização. Dessa forma, podem ser classificados como: cerâmica estrutural ou vermelha, cerâmica para materiais de revestimento, cerâmica branca, cerâmica para materiais refratários, cerâmica para isolantes térmicos, abrasivos, vidro, cimento e cal, e cerâmica de alta tecnologia ou cerâmica avançada.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O material estudado foi coletado em uma mina de rocha ornamental da empresa Togni Mineração S.A., localizada na cidade de Caldas/MG. O material foi britado e quarteado para posterior realização dos ensaios de caracterização. Foram realizados ensaios para determinação da distribuição granulométrica, análise química por fluorescência de raios-x (realizado pela empresa Togni S.A.), determinação do *work index* e ensaios cerâmicos.

Para obter a distribuição granulométrica do material em análise (sienito), peneirou-se 5 kg deste em 18 malhas, sendo a mais grossa de 50 mm e a mais fina 0,15 mm. As demais malhas foram calculadas com intervalo de raiz de dois ($\sqrt{2}$) entre cada malha.

A determinação do *work index* de Bond do material foi realizada a metodologia proposta por Bond (BOND, 1952), e descrita em detalhes na norma brasileira NBR-11736 (ASSOCIAÇÃO, 1990) com uma malha de teste utilizada de 150 μm .

Para realização dos testes cerâmicos foram utilizados dois materiais base: pó de rocha e argila não plástica da região de Poços de Caldas, MG, ambos 100% passantes na malha de 100 mesh Tyler. Com estes materiais base foram preparadas cinco misturas. Todas foram umidificadas com 8% em peso de água e homogeneizadas. Foram escolhidas estas misturas para fornecer informações preliminares sobre o comportamento cerâmico destes materiais, visando aplicações diversas. As amostras foram mantidas em sacos plásticos fechados por no mínimo 24h. As massas cerâmicas preparadas foram compactadas por prensagem hidráulica, uniaxial com ação única do pistão superior a pressão de 357 kgf/cm², em uma matriz de aço de seção retangular (7,00 x 2,00 cm²). Foram confeccionados 20 corpos de prova com cada mistura. Os corpos foram submetidos à secagem em estufa a 60°C. Após secagem mediu-se a largura, o comprimento, a espessura e o peso dos corpos, a fim de obter a massa específica aparente.

A queima dos corpos foi realizada em forno elétrico tipo mufla da marca JUNG, modelo 71201, conforme ilustrado da Figura 1, em 3 temperaturas distintas (1000, 1050 e 1010°C). Foi utilizado um ciclo de queima, aquecendo a mufla em 10°C por minuto até atingir a temperatura desejada, mantendo esta por 5 minutos, e resfriando lentamente até atingir temperatura ambiente. Foram queimados 5 corpos de prova, de cada mistura, para cada temperatura.



Figura 1. Mufla de sinterização com os corpos de prova.

Realizou-se as medições nos corpos de prova após a queima, a fim de se obter a massa específica aparente pós queima. Com os corpos sinterizados foram determinadas as seguintes propriedades tecnológicas: perda ao fogo (PF), conforme equação (1), retração linear de queima (RLQ), conforme equação (2) e absorção de água (AA), conforme equação (3).

$$PF = \left(\frac{\text{massa seco} - \text{massa queima}}{\text{massa seco}} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$RLQ = \left(\frac{\text{comprimento seco} - \text{comprimento queima}}{\text{comprimento seco}} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$AA = \left(\frac{\text{massa com água absorvida pelos poros} - \text{massa queima}}{\text{massa queima}} \right) \times 100 \quad (3)$$

A perda ao fogo é relacionada à quantidade de massa perdida pelo corpo de prova durante a queima. Essa massa representa perda de água absorvida e adsorvida, assim como exalação de gases. A retração linear de queima é relacionada à redução percentual nas dimensões do corpo de prova, em virtude das perdas de água e gases. Com estas perdas, as partículas sólidas tendem a se aproximar, resultando em menor porosidade, o que gera uma retração nas medidas da peça. Quando, porém, algumas fases minerais sofrem mudanças de volume na queima e expandem, temos o processo contrário: o corpo de prova tem suas dimensões aumentadas. Neste caso, a retração seria negativa, levando então o nome de contração. A absorção de água é a propriedade pela qual se avalia o quanto um corpo de prova absorve de água, quando exposto a ela, pelos períodos determinados pela norma ABNT 13818. A quantidade de água absorvida pela peça é diretamente proporcional à porosidade da mesma.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 ilustra os resultados obtidos através do ensaio de distribuição granulométrica da amostra após a britagem.

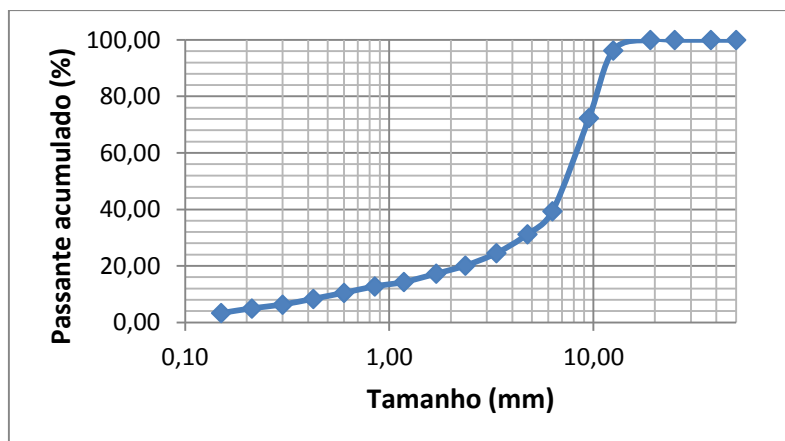


Figura 2. Distribuição granulométrica do material (sienito).

A Tabela I ilustra a média dos principais elementos constituintes da amostra.

Tabela I. Resultados da análise química do sienito.

Elementos	Teor (%)	Alves, 2008	Luoto <i>et al.</i> , 1998
P.F. (%)	0,5	2,48	-
Al ₂ O ₃	13,2	19,27	11,9
SiO ₂	55,4	66,32	45,9
TiO ₂	1,4	0,26	0,9
Fe ₂ O ₃	5,8	2,29	8,2
CaO	6,9	4,48	18,5
MgO	3,1	1,58	11,6
Na ₂ O	3,8	1,28	1,8
K ₂ O	6,5	0,55	0,6
MnO	0,1	0,04	0

Os resultados de análise química indicam que o material pode ser utilizado na fabricação de lâ mineral, principalmente em lâ de rocha, tendo em vista a grande semelhança da constituição do material em estudo com os dados de referência da bibliografia. Porém é necessário estudo detalhado e testes para verificação deste. Já na agricultura, o uso do sienito não é indicado, pois este apresenta alto teor de alumina, prejudicial ao solo e as plantas. O uso em cerâmica estará relacionado ao comportamento fundente apresentado pelas amostras, onde o teor de álcalis (soma dos óxidos de potássio e sódio) é superior a 6%. O limitante para uso em cerâmicas que necessitem de cores claras para aplicação (caso de louças de mesa, vidros transparentes e fritas, por exemplo) é o teor de ferro, superior a 3%.

O resultado encontrado para o *work index* do material foi de 13,4 kWh/t. De acordo com o material pode ser classificado como de média resistência à moagem (9-14 kWh/t).

Em relação aos ensaios cerâmicos, as misturas constituintes de cada amostra, obtidas a partir da mistura dos dois materiais base (pó de sienito e argila), estão apresentadas na Tabela II.

Tabela II. Constituição das amostras utilizadas nos ensaios cerâmicos.

Mistura	Pó de rocha (%)	Argila (%)
A	0	100
B	25	75
C	50	50
D	75	25
E	100	0

Os resultados obtidos, para os 5 tipos de misturas, sinterizados a 1000°C estão expressos na Tabela III.

Tabela III: Resultados dos ensaios cerâmicos para 1000°C (misturas em porcentagem de argila presente: A-100%, B-75%, C-50%, D-25% e E-0%).

Mistura	A	B	C	D	E
Densidade a seco (g/cm ³)	1,4	1,5	1,7	1,8	1,8
Densidade queima (g/cm ³)	1,2	1,3	1,5	1,7	1,7
PF (%)	24,0	18,0	12,3	6,5	2,3
RLQ (%)	3,73	1,00	0,04	-0,34	-0,47
AA (%)	48,1	40,7	27,8	21,6	17,2

Pode-se observar que há incremento nos valores de densidade aparente a seco quando há a adição do sienito à argila não plástica. Porém, observa-se que após a queima os valores de densidade diminuem (comparados às respectivas densidades a seco) para todas as misturas. Isso ocorreu devido ao baixo teor de minerais plásticos presentes nas amostras (tanto nas argilas como no sienito), que dificultou a formação de fases líquidas na queima, que preencheriam os poros, resultando em corpos de provas mais compactos. Esta propriedade pode ser corrigida com a adição de plastificantes (sejam minerais, como uma argila plástica ou orgânica, como Dextril ou CMC). Os ensaios de perda ao fogo mostraram que a argila pura apresentou maior perda de massa, devido ao teor de matéria orgânica e água presentes em sua composição. Com adições de teores crescentes de sienito, houve menos perda de massa na queima, o que é interessante do ponto de vista energético, de custos relacionados à combustível e manutenção do forno. No que diz respeito à RLQ, observou-se que houve contração das peças em teores crescentes de sienito. Esta informação é positiva, pois o sienito pode atuar como nivelador da retração linear da argila, facilitando o controle dimensional em ambiente fabril. Observa-se, por último que as características fundentes do sienito atuam diminuindo a refratariedade da argila. Assim, quanto maior o teor de sienito, menor a absorção de água das peças.

4. CONCLUSÕES

A utilização do sienito na fabricação de lâ mineral, principalmente em lâ de rocha, pode ser viável considerando a semelhança da constituição do material em análise com os dados da bibliografia. Porém é necessário estudo detalhado e testes para verificação deste. Já na agricultura, o uso do sienito não é indicado, pois este apresenta alto teor de alumina, prejudicial ao solo e as plantas.

No que diz respeito à caracterização cerâmica observou-se que a adição de sienito à argila não plástica mostrou resultados preliminares positivos, principalmente relacionados à sua capacidade de diminuir a absorção de água das peças produzidas. Isto é interessante, pois possibilita uso destas matérias-primas numa gama maior de produtos cerâmicos. O principal limitante de uso é o teor de ferro do sienito, para aplicações cuja alvura das peças seja primordial, conforme discutido anteriormente. Novos ensaios estão sendo realizados para melhor discussão e interpretação relacionadas às propriedades cerâmicas do sienito.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fapemig e a Pró-reitoria de pesquisa e pós-graduação da Unifal-MG pelo apoio para a publicação deste trabalho. Agradeçam também à Togni Mineração S.A. pelo fornecimento da amostra utilizada no referente estudo.

6. REFERÊNCIAS

ALVES, J. O. Processo de reciclagem da escória de aciaria e do resíduo de corte do granito visando a produção de lâ mineral 2008. Rede Temática em engenharia de materiais, Ouro Preto, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-11736: Moinho de bolas – determinação do índice de trabalho. Rio de Janeiro, set. 1990. 6 p.

BOND, F.C. The third theory of comminution. Mining Engineering, transactions AIME, p. 484 – 494, may. 1952.

LINO, F. J. Cerâmicos: Materiais em que vale a pena pensar. Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2006.

LOUREIRO, F. E. V. L; MELAMED, NETO, J. F. Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009.

LUOTO, K.; HOLOPAINEN, M.; KANGAS, J.; KALLIOKOSKI, P.; SAVOLAINEN, K. Dissolution of Short and Long Rockwool and Glasswool Fibers by Macrophages in Flowthrough Cell Culture¹ Environmental Research, Section A, v. 78, 1998.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Ceres, 1980.

MARABINI, A. M.; PLESCIA, P.; MACCARI, D.; BURRAGATO, F.; PELINO, M. New Materials From Industrial and Mining Wastes: Glass-Ceramics and Glass- And Rock-Wool Fibre Int. J. Miner. Process., v. 53, 1998.

NAPIER-MUNN, T.J. *et al.* Mineral comminution circuits: their operation and optimization. Indoorroopilly: Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre/University of Queensland, 1999, 413 p. (JKMRC Monograph Series in Mining and Mineral Processing).

ZANARDO, A.; MORENO, M.M.T.; DEL ROVERI, C.; GODOY, L.H. Materiais cerâmicos e caracterização de matérias primas. Curso de extensão universitária: caracterização de matérias primas cerâmicas, 2012.

