

REVESTIMENTO CERÂMICO OBTIDO COM ARGILA E RESÍDUO DE ROCHA ORNAMENTAL SEM GRANALHA

M. C. Borlini¹; A. A. Pazeto²; J. R. Oliveira³; C. M. F. Vieira⁴; S. N. Monteiro⁴

¹Centro de Tecnologia Mineral/Campus Avançado de Cachoeiro de Itapemirim
– CETEM/MCT, Rod. Cachoeiro-Alegre, km 05, bl. 10, Morro Grande, Cachoeiro de
Itapemirim – ES, CEP: 29300-970, mborlini@cetem.gov.br

²Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo - IFES

⁴Universidade Estadual do Norte Fluminense / Laboratório de Materiais
Avançados - UENF/LAMAV

RESUMO

Os resíduos provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais, em sua maior parte, são dispostos no meio ambiente sem nenhum tratamento e utilização. Em Cachoeiro de Itapemirim-ES são geradas 382.726 t/ano (140.708 m³/ano) desses resíduos. O objetivo desse trabalho foi a obtenção de revestimento cerâmico incorporado com o resíduo de granito conhecido como "Iberê Crema Bourdeaux". O resíduo foi coletado, na forma de lama, durante o estágio de serragem (beneficiamento) da rocha. A lama é geralmente constituída de água, cal, granalha e rocha moída. A granalha é um insumo composto de ferro ou aço. O resíduo passou por um processo de tratamento, por meio de separação magnética, para a separação da granalha. Foram preparadas composições com incorporações de 0 a 30% em peso de resíduo na massa cerâmica. Os corpos de prova foram prensados e queimados a 1175°C. Observou-se uma melhoria das propriedades da cerâmica incorporada com até 20% de resíduo, quando comparada à cerâmica sem resíduo.

Palavras-chave: resíduo, granito, cerâmica, incorporação, meio ambiente

INTRODUÇÃO

A produção brasileira de rochas ornamentais e de revestimento totalizou cerca de 8,0 milhões de toneladas no ano de 2007 ⁽¹⁾. Desse total, o Espírito Santo responde por quase 40% da produção brasileira e concentra 60% da capacidade instalada de beneficiamento de blocos, no país.

O setor de rochas ornamentais envolve atividades de extração, serragem (beneficiamento primário), polimento e corte. As empresas de beneficiamento de rochas têm como principal atividade a serragem e o polimento das rochas. Nas serrarias, cerca de 25 a 30% das rochas são transformadas em resíduos, na forma de lama (abrasiva). A mistura abrasiva é geralmente constituída de água, finos de granalha, de cal e de pó de rocha. Após o processo, os resíduos, em sua maior parte, sem nenhum tratamento e utilização, são dispostos no meio ambiente, podendo causar a contaminação das águas superficiais, do lençol freático, do solo e do ar. Após a evaporação da água, o pó resultante se espalha, contaminando o ar e os recursos hídricos ⁽²⁾. A granalha é um insumo composto de ferro ou aço, cujo conteúdo residual pode prejudicar as propriedades do produto, dependendo de sua aplicação.

O granito possui como componentes principais o feldspato, quartzo e mica. O material Iberê Crema Bordeaux é classificado petrograficamente como um metagranito porfirítico, possui em sua composição expressivas quantidades de feldspatos. Os resíduos correspondentes desse material podem atuar como fundentes durante o processo de sinterização de cerâmica.

Em trabalho já realizado pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo - IFES foi utilizada a parte metálica presente no resíduo de granito, proveniente da granalha de aço, para a confecção de briquetes ⁽³⁾, visando o seu aproveitamento como sucata de aciaria. A parte metálica do resíduo de rochas ornamentais foi obtida por separação magnética em um separador magnético a úmido. O presente trabalho é consonante com o trabalho de aproveitamento do resíduo de granalha já realizado pelo IFES.

Os estudos de aplicação tecnológica de resíduos de granito na indústria cerâmica têm atraído muita atenção, devido à possibilidade de redução de custos de produção, uso de resíduos como uma matéria-prima secundária na produção de fases vítreas muito estáveis (vidro e vitrocerâmica) e na produção de tijolos e revestimentos ⁽⁴⁾. Alguns trabalhos já foram publicados referentes à caracterização ⁽⁵⁾

e ao uso de resíduos de granito na fabricação de vidros e vitrocerâmicas ^(6,7 apud 4, 8), porcelanato ^(9 apud 4) e produtos argilosos ^(10,11). Entretanto, a utilização de resíduo de granito sem granalha em composição de massa de revestimento cerâmico ainda não foi abordada.

O objetivo desse trabalho foi a obtenção de revestimento cerâmico incorporado com o resíduo de granito, conhecido como “Iberê Crema Bourdeaux”, após a separação da granalha.

MATERIAIS E MÉTODOS

As matérias primas utilizadas nesse estudo foram o resíduo do beneficiamento primário do granito conhecido comercialmente como Iberê Crema Bordeaux, proveniente da região de Cachoeiro de Itapemirim, ES, e uma massa argilosa industrial de telhas, composta de argilas do município de Campos dos Goytacazes, RJ, denominadas de argila “forte” e argila “fraca”. A massa cerâmica foi composta de 50% de cada argila. A Figura 1 mostra uma representação esquemática dos produtos gerados na serragem de um bloco de granito.

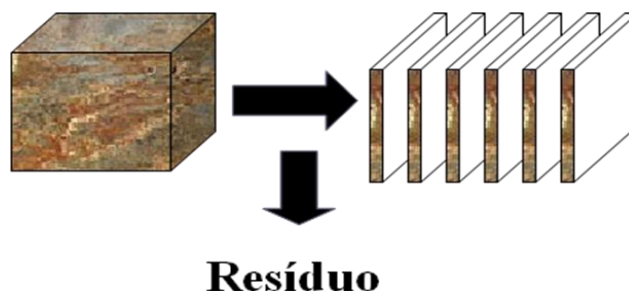


Figura 1. Representação esquemática do produto e subproduto de um bloco de granito.

Foi feita a limpeza do poço de resíduo antes do beneficiamento primário (serragem) da rocha desse estudo, para garantir que não houvesse contaminação com outros materiais. O resíduo foi coletado diretamente do poço do tear, na forma de lama, durante o estágio do beneficiamento da rocha.

O resíduo, semi-seco, passou por um processo de tratamento, por meio de separação magnética, para separação da granalha. A Figura 2 mostra o separador magnético a úmido que foi utilizado para a separação da granalha do resíduo e a Figura 3 mostra o resíduo de granito seco.

A caracterização do resíduo foi feita por meio de ensaios de difração de raios-X, análise de composição química e de distribuição de tamanho de partículas.

O difratograma de raios-X do resíduo, obtido pelo método do pó, foi coletado em um equipamento Bruker-D4 Endeavor, nas seguintes condições de operação: radiação Co $K\alpha$ (40 kV/40 mA); velocidade do goniômetro de $0,02^\circ 2\theta$ por passo com tempo de contagem de 0,5 segundos por passo e coletados de 4 a $80^\circ 2\theta$, com detector linear sensível à posição LynxEye. A composição química foi determinada por espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX), utilizando espectrômetro BRUKER-AXS modelo S4- Explorer, equipado com tubo de Rh. A perda ao fogo foi realizada em estufa a $105 / 950^\circ\text{C}$.



Figura 2. Separador magnético a úmido.



Figura 3. Resíduo de granito.

A análise de distribuição do tamanho de partícula foi realizada em equipamento Mastersizer 2000, acessório MU da Malvern Instruments.

A massa cerâmica foi seca ao ar livre e em seguida, em estufa a 80°C e desagregada em um britador de mandíbulas. A composição da massa cerâmica

pode ser vista na Tabela 1 ⁽¹²⁾. É típica de argila caulinítica, contendo alto teor de alumina e pequenas quantidades de óxidos alcalinos.

Foram preparadas composições com incorporações de 0, 10, 20 e 30% em peso de resíduo na massa cerâmica, conforme descrito na Tabela 2. Foram confeccionados corpos de prova por prensagem uniaxial a 30 MPa. A queima foi realizada em forno de laboratório na temperatura de patamar de 1175°C com taxa de aquecimento de 10°C/min e isoterma de 10 minutos.

Tabela 1. Composição química da massa cerâmica (% em peso) ⁽¹²⁾.

Composição (%)								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	PF
52,20	23,71	8,80	1,24	0,35	0,90	2,09	0,60	10,18

Tabela 2. Composições estudadas (% em peso).

Matérias primas	A0R	A10R	A20R	A30R
Massa cerâmica	100	90	80	70
Resíduo	0	10	20	30

Foi determinada a massa específica aparente dos corpos de prova secos.

As propriedades tecnológicas determinadas nos corpos de prova sinterizados foram absorção de água, retração linear e resistência mecânica. A absorção de água foi determinada de acordo com a norma ASTM C 373-72 ⁽¹³⁾. A retração linear foi obtida por medida do comprimento das amostras, antes e após a queima, usando um paquímetro com precisão de $\pm 0,01$ mm. A resistência à flexão em três pontos foi determinada em uma máquina de ensaios universal Instron 5582 ⁽¹⁴⁾.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 mostra a composição química do resíduo. O resíduo do granito é basicamente constituído de SiO₂, Al₂O₃, CaO e óxidos alcalinos. A elevada quantidade de SiO₂ está associada com a fase cristalina do quartzo. Quando o resíduo é adicionado na argila, a grande quantidade de sílica livre contribui para modificar a plasticidade e facilitar a etapa de secagem da cerâmica. No entanto, um

excesso de quartzo pode reduzir a resistência mecânica. O Al_2O_3 está associado com o SiO_2 e óxidos alcalinos e alcalinos terrosos para formar as fases feldspáticas. A grande quantidade de óxidos alcalinos, $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$, pode facilitar a etapa de queima da cerâmica, por meio da formação de fase líquida⁽¹⁵⁾.

Tabela 3. Composição química do resíduo (% em peso).

Composição (%)										
Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	K_2O	MgO	MnO	Na_2O	SiO_2	P_2O_5	TiO_2	PF
12,89	5,59	1,97	4,26	0,23	0,06	3,40	68,61	0,05	0,09	2,86

A principal fase cristalina encontrada no resíduo corresponde ao quartzo (Figura 4). O resíduo também apresenta picos de difração correspondentes a microclina, albita e biotita. Durante a queima, o quartzo atua como fase inerte e não-plástica. A microclina é benéfica para o processamento cerâmico, pois se comporta como fundente.

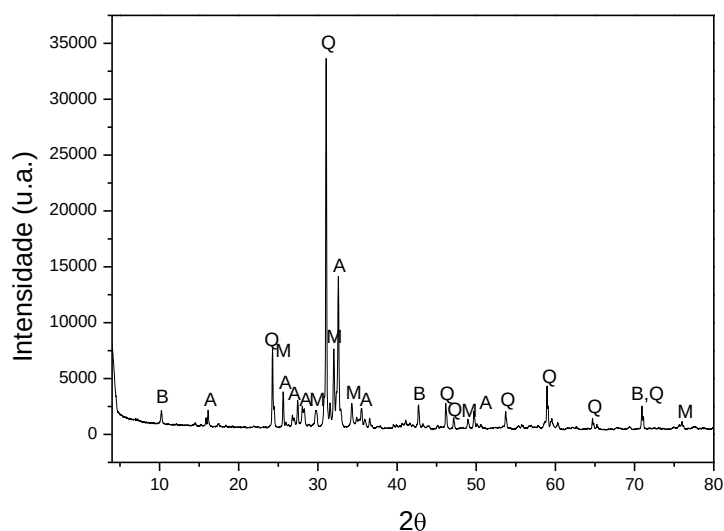


Figura 4. Difratograma de raios-X do resíduo. B= Biotita, A= Albita, M= Microclina, Q= Quartzo.

A Figura 5 mostra a curva da distribuição do tamanho de partícula do resíduo. Foi verificado que 10% das partículas do resíduo possuem diâmetro inferior a

2,2 μm , 50% das partículas do resíduo possuem diâmetro inferior a 13,2 μm e 90% das partículas do resíduo possuem diâmetro inferior a 54,5 μm .

O comportamento granulométrico do resíduo é apropriado para produção de massa cerâmica, o que pode ser confirmado em estudos de Nunes *et al.* ⁽¹⁶⁾, dentre outros.

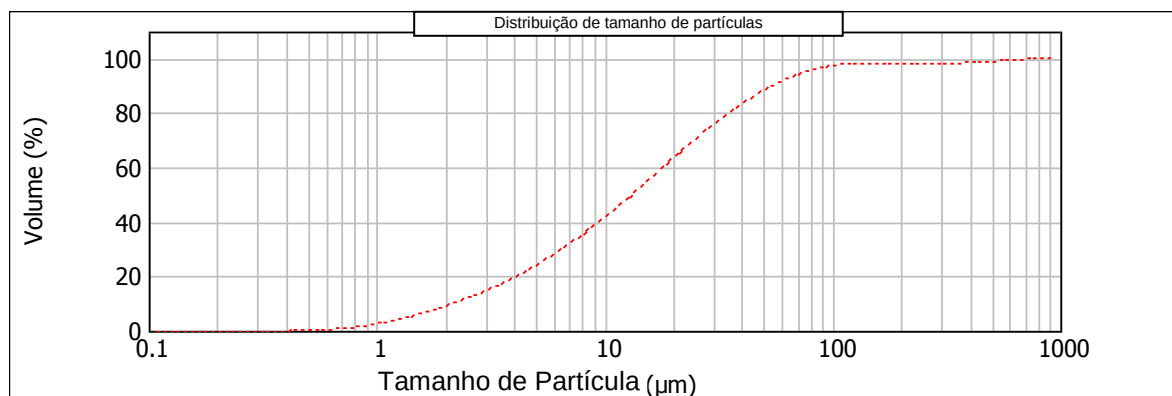


Figura 5. Curva de distribuição do tamanho de partículas do resíduo.

A Tabela 4 apresenta a massa específica aparente a seco das cerâmicas com resíduo. Pode ser observado que a massa específica aparente aumentou à medida que foi adicionado resíduo na massa cerâmica. Portanto, a adição de resíduo melhorou o grau de empacotamento das partículas.

Tabela 4. Massa específica aparente, a seco, das composições estudadas (g/cm^3)

A0C	A10C	A20C	A30C
$1,73 \pm 0,01$	$1,75 \pm 0,01$	$1,79 \pm 0,01$	$1,82 \pm 0,01$

Os corpos de prova cerâmicos sinterizados, produzidos com argilas e resíduo de granito “Iberê Crema Bourdeaux”, podem ser vistos na Figura 6.

A retração linear dos corpos de prova sinterizados é mostrada na Figura 7. De uma forma geral, utilizando a barra de erro estatístico, pode-se observar que a retração diminuiu com o aumento da incorporação de resíduo. A composição A10R praticamente não apresentou modificações em relação à retração da composição A0R, enquanto as composições A20R e A30R apresentaram diminuição na retração em relação às demais composições estudadas. A composição A0R apresentou

maior retração, devido, principalmente, aos argilominerais, partículas menores que 2 μm , que são muito reativas durante o processo de sinterização.

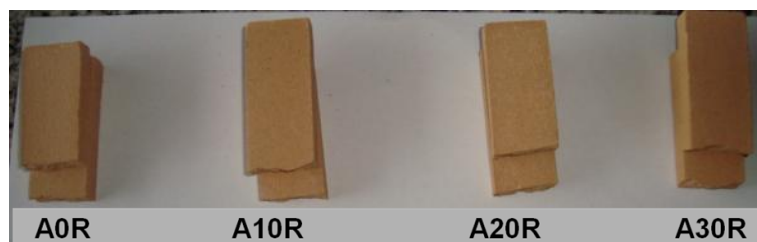


Figura 6. Corpos de prova cerâmicos produzidos com argilas e resíduo de granito “Iberê Crema Bourdeaux”, após ensaios.

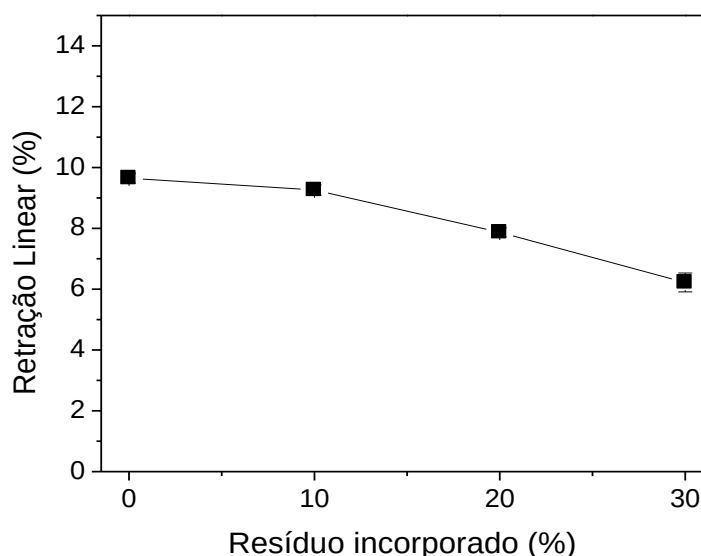


Figura 7. Retração linear dos corpos de prova em função da porcentagem de resíduo incorporado.

A Figura 8 mostra a absorção de água das composições estudadas. Pode ser observado que houve uma ligeira diminuição da absorção de água para a composição A10R, quando comparada a massa cerâmica sem resíduo. Isso está associado à maior formação de fase líquida, durante a sinterização da cerâmica. Para a composição A20R, observou-se que não houve mudança significativa no valor de absorção de água em relação à composição A10R. Observa-se, para a composição A30R, um aumento na absorção de água, em relação às demais composições estudadas com resíduo e à cerâmica sem resíduo.

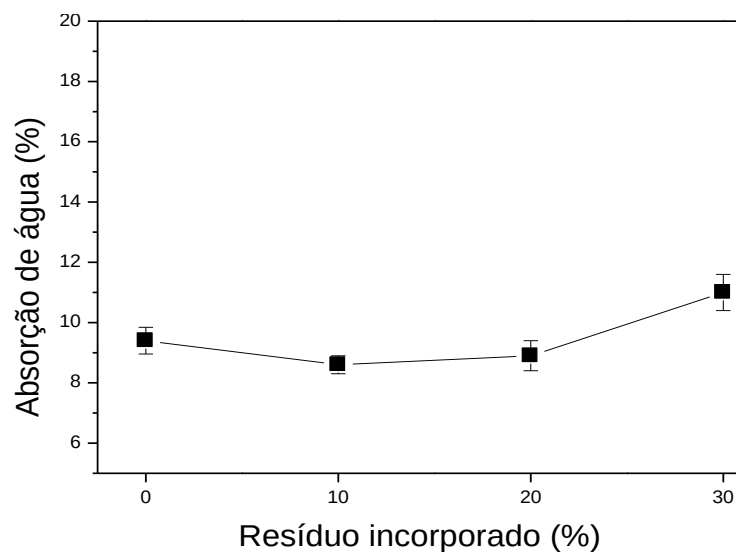


Figura 8. Absorção de água dos corpos de prova em função da porcentagem de resíduo incorporado.

A Figura 9 mostra a resistência à flexão em três pontos dos corpos de prova sinterizados em função da porcentagem de resíduo incorporado. Observa-se que a composição A20R apresentou maior resistência mecânica, quando comparada às demais composições estudadas. Isso está associado à maior formação de fase líquida, preenchendo os poros e densificando o corpo cerâmico.

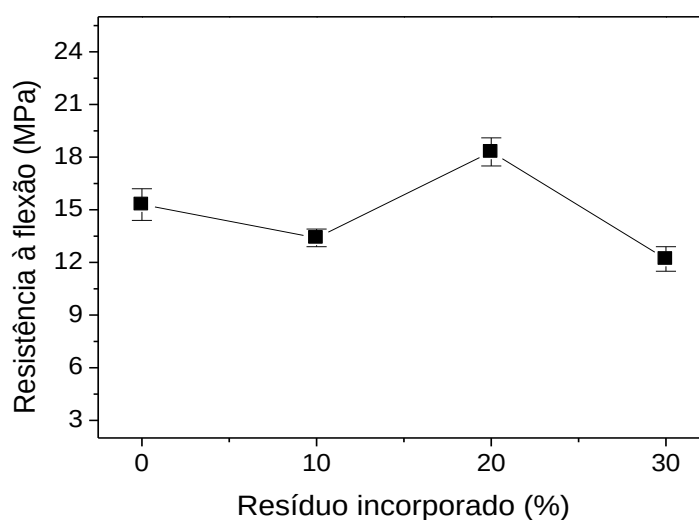


Figura 9. Resistência à flexão em três pontos dos corpos de prova em função da porcentagem de resíduo incorporado.

CONCLUSÃO

Em geral, a retração linear diminuiu com a incorporação de resíduo na massa cerâmica. Observou-se uma ligeira melhoria na absorção de água para a cerâmica com 10% de resíduo.

A cerâmica incorporada com 20% de resíduo apresentou absorção de água de 8,9% e houve um acréscimo da resistência mecânica para essa composição, quando comparada às demais. Segundo os resultados de absorção de água e resistência à flexão dessa composição, esta pode ser classificada como revestimento cerâmico semi-poroso, de acordo com a NBR 13818.

Como conclusão desse trabalho, tem-se que a incorporação em cerâmica é uma alternativa tecnológica para a utilização de parte do resíduo de rocha ornamental e traz grandes vantagens para o meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CETEM, UENF, CNPq, IFES e a PEMAGRAN o apoio e bolsa concedida a esta pesquisa.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais - ABIROCHAS. "Situação Atual e Perspectivas Brasileiras no Setor de Rochas Ornamentais", Informe nº 02, 2008.
2. FARIAS, C.E.G. Mercado Nacional. **Séries Estudos Econômicos sobre Rochas**, v.2, Fortaleza, 1995.
3. JUNCA, E.; GRILLO, F. F.; STEINKOPF JUNIOR, R. G.; NASCIMENTO, R. C.; OLIVEIRA, J. R.; TENÓRIO, J. A. S. Estudo da viabilidade técnica da utilização do metal contido no resíduo de rochas ornamentais nos processos de fabricação de aço. In: 40º Seminário de Aciaria - Internacional, São Paulo, 2009. **Anais do 40º Seminário de Aciaria – Internacional**, São Paulo, 2009.
4. MENEZES, R. R.; FERREIRA, H. S.; NEVES, G. A.; LIRA, H. L.; FERREIRA, H. C. Use of granite sawing wastes in the production of ceramic bricks and tiles. **Journal of the European Ceramic Society**, 25, p. 1149–1158, 2005.

5. PAZETO, A. A.; BORLINI, M.C.; SANDRINI, I.; OLIVEIRA, J.R.; CARANASSIOS, A. Caracterização de Resíduo da Serragem do Granito *Iberê Crema Bordeaux* Visando sua Incorporação em Cerâmica Argilosa. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Porto de Galinhas, 2008. **Anais do 18º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, PE, 2008.
6. MARABINI, A. M., PLESCIA, P., MACCARI, D., BURRAGATO, F. AND PELINO, M., New materials from industrial and mining wastes: glass-ceramics and glass-and rock-wool fibre. **Int. J. Miner. Process**, 53, p.121–134, 1998.
7. RINCÓN, J.MA. AND ROMERO, M. Aplicaciones en la producción de materiales vitrocerámicos de residuos minerales de canteras y serrerías de granito. **Geogaceta**, 20, p.1552–1553, 1996.
8. BABISK, M. P. **Desenvolvimento de vidros sodo-cálcicos a partir de resíduos de rochas ornamentais**. Dissertação (Mestrado em ciência dos materiais). Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2009.
9. HERNÁNDEZ-CRESPO, M.S. and RINCÓN, J.MA. New porcelainized stoneware materials obtained by recycling of MSW incinerator fly ashes and granite sawing residues. **Ceram. Int.**, 27, p.713–720, 2001.
10. MONTEIRO, S. N., PEÇANHA, L. A., VIEIRA, C. M. F. Reformulation of Roofing Tiles Body With Addition of Granite Waste From Sawing Operations, **Journal of the European Ceramic Society**, v.26, p.305-310, 2004.
11. SEGADÃES, A. M., CARVALHO, M. A., ACCHAR, W. Using Marble and Granite Rejects to Enhance the Processing of Clay Products, **Applied Clay Science**, v.30, p.42-52, 2005.
12. VIEIRA, C. M. F., SÁNCHEZ, R. J., MONTEIRO, S. N. Characteristics of clays and properties of building ceramics in the state of Rio de Janeiro, Brazil. **Construction & Building Materials**, v.22, p.781-787, 2008.
13. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM, Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products, C 373-72, USA, 1972.
14. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM, Flexural Properties of Ceramic Whiteware Materials, C 674-77, 1977.
15. KINGERY, W.D., BOWEN H.K., UHLMANN, D.R. **Introduction to ceramics**. 2. ed. New York, NY: John Wiley & Sons, 1975.

16. NUNES, R.L.S., FERREIRA, H.S., NEVES, G. A., SANTANA, L.N.L., FERREIRA, H.C. Reciclagem de Rejeitos de Mármore e Granitos Utilizados em Substituição a Matérias Primas Convencionais para Produção de Revestimentos Cerâmicos. In: 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica. João Pessoa. Paraíba, 2003. **Anais do 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica**, João Pessoa, 2003.

CERAMIC TILE OBTAINED WITH CLAY AND DIMENSION STONE WASTE WITHOUT METAL SHOT

ABSTRACT

Most of the waste resultant of the processing of dimension stones is disposed in the environment, without any treatment and use. Cachoeiro de Itapemirim-ES generates 140.708 m³/y of these wastes. The objective of this work was the obtaining of ceramic tile incorporated with granite wastes, known as "Iberê Crema Bourdeaux". The waste was collected, as sludge, during the rock sawing phase. The sludge is usually constituted of water, limestone, metal shot and rock powder. The metal shot is an input composed of iron or steel. The waste underwent a treatment process, through magnetic separation, for the separation of the metal. Compositions with incorporations from 0 to 30% in weight of waste in the ceramic body were prepared. The proof bodies were pressed and fired to 1175°C. An improvement of the properties of the ceramic with up to 20% of waste incorporated was observed, when compared to the ceramic without waste.

Key-words: waste, granite, ceramic, incorporation, environment