

## INCORPORAÇÃO DE LAMA DE ALTO FORNO BENEFICIADA EM CERÂMICA VERMELHA<sup>1</sup>

Carlos Maurício Fontes Vieira<sup>2</sup>  
Mariana Miranda de Abreu<sup>3</sup>  
Aline Viana Riter<sup>4</sup>  
Sergio Neves Monteiro<sup>5</sup>  
Fernando Vernilli Junior<sup>6</sup>

### Resumo

Este trabalho tem por objetivo avaliar a possibilidade de incorporação de um tipo de lama de alto forno, beneficiada por separadores helicoidais, em cerâmica vermelha. O resíduo foi submetido à caracterização mineralógica, morfológica e química. Foram preparados corpos de prova por prensagem uniaxial a 20 MPa com até 10% em peso de resíduo incorporado à massa cerâmica para queima a 950°C. As propriedades físicas e mecânicas avaliadas foram: retração linear, absorção de água e tensão de ruptura à flexão. Os resultados mostraram que a lama de alto forno investigada apresenta características favoráveis para a incorporação em cerâmica vermelha como a granulometria fina e a presença de finos de coque que contribuem para a redução de gasto energético durante a etapa de queima. Além disso, foi observado um incremento da resistência mecânica da cerâmica queimada com incorporações acima de 2,5% de lama de alto forno.

**Palavras-chave:** Cerâmica vermelha; Lama de alto forno; Reciclagem; Siderurgia.

### RECYCLING OF BENEFIT BLAST FURNACE INTO RED CERAMIC

#### Abstract

This study aims to analyze the possibility of the incorporation of a type of blast furnace sludge, benefit by a process that uses helical separators, into red ceramic. The waste was submitted to mineralogical, morphological and chemical characterization tests. Specimens were prepared by uniaxial pressing at 20 MPa and then fired at 750°C and 950°C. The evaluated technological properties were: linear shrinkage, water absorption and flexural rupture strength. The results showed that the investigated blast furnace sludge presents favorable characteristics for its incorporation into red ceramics such as a fine particle size distribution as well as the presence of coke fines that contributes to decrease the energy cost during the firing stage. It was also observed an increase in the mechanical strength of the fired ceramic with incorporations above of 2.5% of blast furnace sludge.

**Key-words:** Red ceramic; Blast furnace sludge; Recycling; Steel-making industry.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro mecânico. Professor associado. Laboratório de Materiais Avançados – LAMAV. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF. Belo Horizonte, MG, Brasil. [vieira@uenf.br](mailto:vieira@uenf.br).

<sup>3</sup> Bióloga. Mestranda. LAMAV, UENF. Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil. [marianamabreu@yahoo.com.br](mailto:marianamabreu@yahoo.com.br).

<sup>4</sup> Graduada em engenharia de produção. Iniciação Científica. LAMAV, UENF. Campos dos Goytacazes, RJ, [aline\\_riter@hotmail.com](mailto:aline_riter@hotmail.com).

<sup>5</sup> Engenheiro metalúrgico. Professor. Instituto Militar de Engenharia - IME. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. [sergio.neves@ig.com.br](mailto:sergio.neves@ig.com.br).

<sup>6</sup> Engenheiro de materiais. Professor adjunto. Escola de Engenharia de Lorena - EEL Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, SP, Brasil. [fernando.vernilli@usp.br](mailto:fernando.vernilli@usp.br).

## 1 INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos são uma crescente preocupação mundial devido ao seu volume e a dificuldade para sua disposição final. Quando depositados em aterros sanitários ou lixões podem causar a degradação do solo, contaminação do lençol freático e do ar, gerando custos adicionais e problemas ambientais.

O setor siderúrgico gera uma enorme variedade de resíduos no decorrer de seu processo, principalmente em se tratando de usinas integradas. No Brasil, entre os meses de março de 2009 e 2010, a produção de aço bruto foi de 29,5 milhões de toneladas com o crescimento calculado no período de 63,4 % referente ao mês de março.<sup>(1)</sup> Entretanto, estes números refletem uma recuperação da produção a partir da crise de 2008. Tal recuperação da produção é acompanhada de aumento na produção dos resíduos gerados, os quais podem ser classificados em resíduos recicláveis, resíduos carboquímicos e escórias. Deve-se ressaltar que para cada tonelada de aço produzida, é gerada quase meia tonelada de resíduos.

A lama de alto forno é um resíduo gerado após a etapa de lavagem do gás de Alto-Forno. A reciclagem direta dos pós do alto forno é prejudicada pela presença de elementos indesejáveis tais como o zinco, chumbo e metais alcalinos.<sup>(2)</sup> Estes elementos com baixos pontos de fusão podem causar problemas operacionais interferindo nas reações que ocorrem no alto forno.

Uma siderúrgica nacional vem submetendo este resíduo a um processo de beneficiamento por meio de separadores helicoidais. O objetivo deste processo é o de aumentar a concentração de compostos de ferro e diminuir a concentração de elementos deletérios, principalmente do zinco, permitindo assim, o reaproveitamento da lama de alto forno no próprio processo siderúrgico.

Como alternativa de reaproveitamento deste resíduo, destaca-se a incorporação em cerâmica vermelha.<sup>(3,4)</sup> Trabalhos anteriores indicaram a viabilidade técnica em virtude da granulometria fina, bem como a constituição química e mineralógica do resíduo. A lama de alto forno contribui de forma significativa para a economia de energia na etapa de queima da cerâmica devido à presença de finos de coque.

Neste sentido, este trabalho tem por objetivo analisar o efeito da incorporação de um tipo de lama de alto forno nas propriedades físicas e mecânicas de uma massa argilosa utilizada para fabricação de cerâmica vermelha.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foi utilizada uma lama de alto forno, denominada de Concentrada, proveniente de uma indústria siderúrgica nacional, bem como uma massa de cerâmica vermelha proveniente do município de Campos dos Goytacazes já caracterizada anteriormente.<sup>(5)</sup>

O resíduo foi caracterizado em termos da composição mineralógica, composição química e morfologia. A composição mineralógica qualitativa do resíduo foi realizada por meio de difração de raios-X (DRX) utilizando um difratômetro Panalytical, modelo Empyrian, com radiação de Cu-K $\alpha$ . A composição química foi determinada por fluorescência de raios-X em espectrômetro Panalytical, modelo Axios. A morfologia do resíduo foi avaliada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) utilizando um microscópio Jeol, modelo JSM 6460 LV, com espectrômetro de energia dispersiva (EDS) acoplado.

Na etapa de preparação das composições, tanto a lama de alto forno quanto a massa cerâmica, foram desagregadas e peneiradas em 20 mesh (0,84 mm). Posteriormente, foram secas em estufa a 110°C até peso constante. Foram preparadas composições com a incorporação da lama de alto forno à massa cerâmica nos seguintes percentuais em peso: 0%; 2,5%; 5% e 10%. As composições foram homogeneizadas a seco e umedecidas a 8%.

Foram confeccionados corpos-de-prova por prensagem uniaxial a 20 MPa em matriz de aço no tamanho 114,3 x 25,4 x 10 mm. Os corpos-de-prova foram secos em estufa a 110°C até peso constante para queima em forno de laboratório a 750°C e 950°C, com patamar de 120 minutos. Foi utilizada uma taxa de aquecimento/resfriamento de 2°C/min. As cerâmicas queimadas foram submetidas a ensaios físicos e mecânicos para a determinação da retração linear, absorção de água e tensão de ruptura à flexão.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra a composição química do resíduo. Os resultados mostram que a lama é constituída predominantemente de óxidos de Fe e de Si. Nota-se também um elevado valor de perda ao fogo, que está associado, sobretudo, à combustão dos finos de coque. Em comparação com a lama de alto forno de proveniente de outra siderúrgica, não submetida a processos de beneficiamento [3], são observados menores teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, óxidos alcalinos e alcano terrosos (K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, CaO e MgO) e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e maior teor de SiO<sub>2</sub>. Os valores de ZnO e da perda ao fogo (PF) são similares.

**Tabela 1.** Composição química do resíduo (% em peso)

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	ZnO	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	PF
42,1	0,10	0,39	23,7	0,51	0,20	0,26	0,74	25,6

A Figura 1 mostra o difratograma de raios-X do resíduo. As fases cristalinas identificadas estão associadas a compostos de ferro como a magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) e hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), ao quartzo (SiO<sub>2</sub>) e à calcita CaCO<sub>3</sub>. A elevação do background do difratograma é um indício de presença de material amorfo, finos de coque, que será comprovado mais adiante.

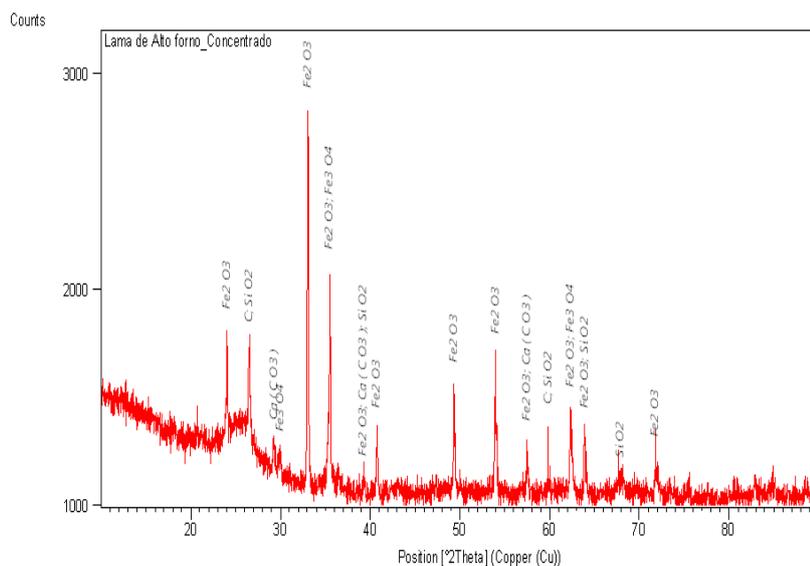


Figura 1. Difratoograma de raios X do resíduo.

A Figura 2 mostra uma micrografia de MEV da lama de alto forno Concentrada. Nota-se a presença de aglomerados de granulometria fina e de tamanho máximo aproximado de 200  $\mu\text{m}$ . Os espectros de EDS dos aglomerados identificados indicam a presença de Fe, Ca, Si, Zn, S e Al. O elemento ferro está associado a partículas de hematita, e magnetita, conforme identificação mineralógica, Figura 1. O Ca está associado, sobretudo, a partículas de calcita, também identificada na Figura 1. O Si está na forma de quartzo e possivelmente em combinação com outros elementos, como por exemplo, o Al e o próprio Ca, formando fases complexas não identificadas por DRX.

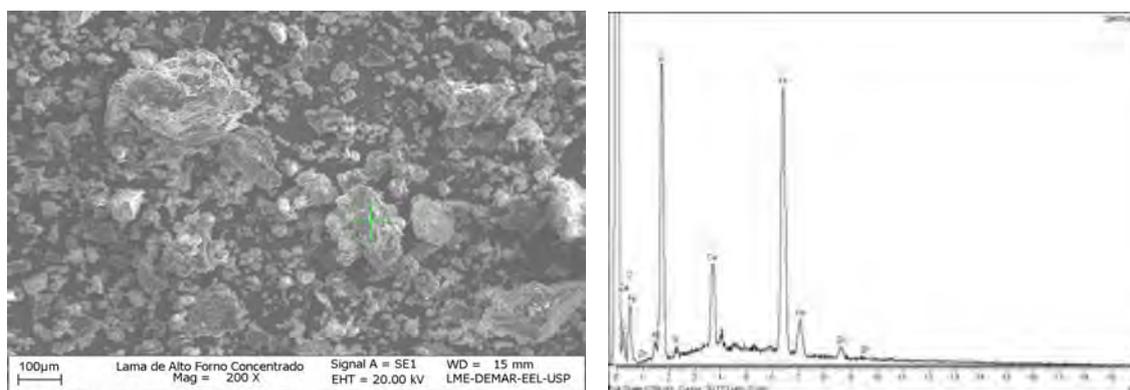
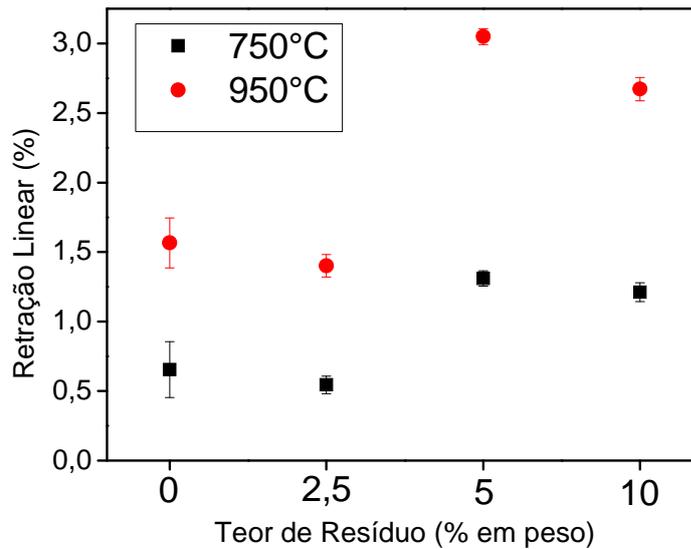


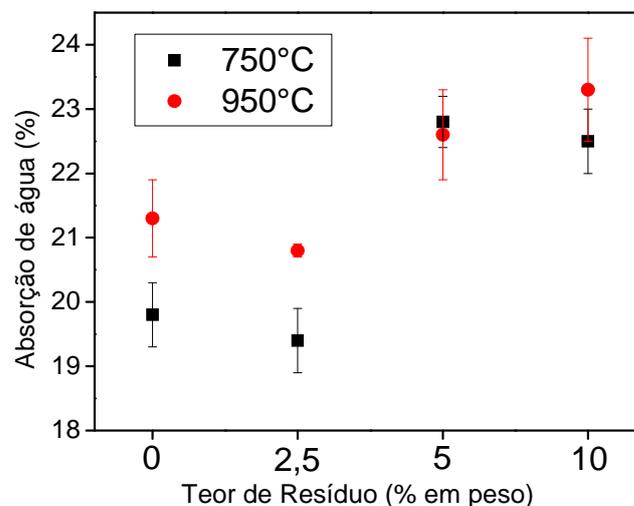
Figura 2. Micrografia obtida por MEV do resíduo com espectro de EDS.

A Figura 3 mostra a retração linear das composições queimadas a 750 e 950°C. Nota-se que para todas as composições, o aumento da temperatura de queima acarretou incremento da retração linear. Com relação ao efeito do resíduo da retração da massa argilosa, observa-se que até 2,5% de incorporação não há alteração desta propriedade. Entretanto, com teores maiores, 5 e 10%, ocorre um aumento significativo da retração linear. Isto é basicamente devido à combustão dos finos de coque.



**Figura 3.** Retração linear das cerâmicas queimadas.

A Figura 4 mostra a absorção de água das composições queimadas a 750 e 950°C. Observa-se que ocorre um incremento da absorção de água com teores de 5 e 10% de resíduo. Na temperatura de 750°C o incremento foi de 13,6% para 10% de incorporação. Já a 950°C, o incremento da absorção de água foi de 9,4% para o mesmo percentual de incorporação de resíduo. Isto ocorre, sobretudo, devido à combustão dos finos de coque. Com relação ao efeito da temperatura de queima nas composições com 0 e 2,5% de resíduo ocorreu um incremento médio de 7,4% na absorção de água com o aumento da temperatura de queima. Isto está associado às transformações de fase da metacaulinita, fase amorfa e predominante, em novas estruturas. Já para as composições com concentrações maiores de resíduo, estatisticamente não se observa diferença na absorção de água com a variação da temperatura. Neste caso, o calor produzido no interior das cerâmicas pela combustão dos finos de coque pode ter contribuído para reduzir a porosidade da cerâmica a 950°C de forma que o efeito das transformações de fase na porosidade fosse praticamente anulado.



**Figura 4.** Absorção de água das cerâmicas queimadas.

A Figura 5 apresenta a tensão de ruptura à flexão das cerâmicas queimadas a 750 e 950°C. Nota-se que para todas as composições, o aumento da temperatura de queima acarretou incremento da resistência mecânica. Isto ocorre devido aos mecanismos de sinterização que possibilitam uma maior consolidação das partículas, mesmo que para algumas composições tenha ocorrido aumento da porosidade aberta. Observa-se ainda que praticamente não ocorreu variação da tensão de ruptura à flexão para as composições com 0 e 2,5% de resíduo nas duas temperaturas de queima investigadas. Por outro lado, com teores maiores de resíduo, 5 e 10%, ocorreu um aumento significativo da resistência mecânica. Por exemplo, com 5% de resíduo a 750°C este aumento foi de 60,4%. Já a 950°C, a tensão de ruptura à flexão apresentou um valor 129% superior à composição sem resíduo. Estes resultados estão diferentes do trabalho de Vieira e colaboradores <sup>(3)</sup>. Foi observado que a massa argilosa caulinítica também proveniente de Campos dos Goytacazes incorporada com 5% de lama de alto forno proveniente de outra indústria siderúrgica apresentou uma resistência mecânica inferior em 23,3% em comparação com a cerâmica sem resíduo queimada a 900°C. Isto pode ser atribuído às diferenças significativas da composição da lama como as variações nos teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e de SiO<sub>2</sub>, bem como a eventuais diferenças na granulometria.

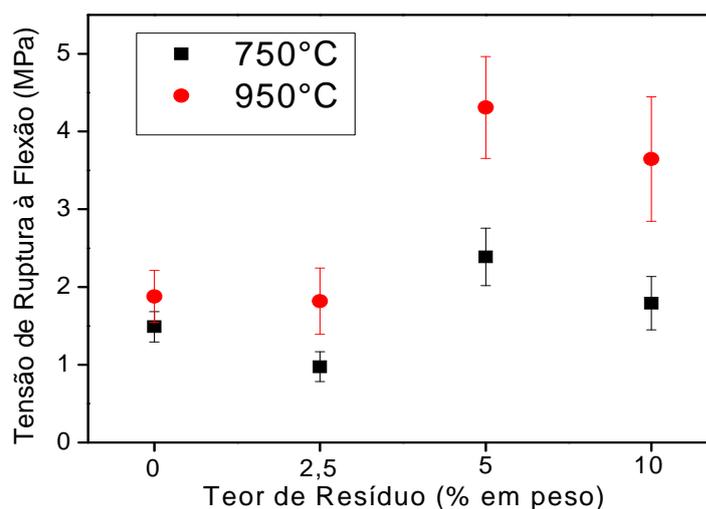


Figura 5. Tensão de ruptura à flexão das cerâmicas queimadas

#### 4 CONCLUSÕES

- A lama de alto forno é um resíduo constituído predominantemente por óxidos de ferro e por finos de coque. Entretanto, dependendo do processo de beneficiamento, este tipo de resíduo pode apresentar diferenças significativas em sua composição química.
- Com 2,5% de resíduo incorporado praticamente não houve alteração nas propriedades observadas da cerâmica argilosa.
- O resíduo, a partir de 5% de incorporação, contribuiu para aumentar a absorção de água, a retração linear e a tensão de ruptura à flexão da cerâmica queimada. Embora tenha ocorrido um incremento da resistência mecânica, a absorção de água, que é uma propriedade regulada por norma técnica, também aumenta. Desta forma, recomendam-se incorporações em cerâmica vermelha em teores menores que 5% em peso.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Faperj, proc. n. E-26/110.200/2011.

## REFERÊNCIAS

- 1 INSTITUTO AÇO BRASIL. **Números de mercado/Estatísticas**. Disponível em: [www.acobrasil.org.br/site/portugues/numeros/estatisticas.asp](http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/numeros/estatisticas.asp). Acesso em: 11 de abril de 2010.
- 2 PRAKASH, B. DAS. S.; REDDY, P. S. R.; MISRA, V. N. An overview of utilization of slag and sludge from steel industries, *Resources, Conservation and Recycling*, v. 50, n. 1, p.40-57, 2007.
- 3 VIEIRA, C. M. F.; DIAS, C. A. C. M.; MOTHE, A. V.; SÁNCHEZ, R.; MONTEIRO, S. N. Incorporação de lama de alto forno em cerâmica vermelha. *Cerâmica*, v. 53, p. 381-387, 2007.
- 4 VIEIRA, C. M. F.; DIAS, C. A. C. M.; SÁNCHEZ, R.; MONTEIRO, S. N.; LOSS, T. L. Incorporação de lama de alto forno em cerâmica vermelha - teste industrial In: 65 Congresso Internacional da ABM, 2010, Rio de Janeiro. Anais do 65 Congresso Internacional da ABM. , 2010. p.2492 – 2502.
- 5 PEREIRA, P. S.; MORAIS, A. S.; CALDAS, T. C. C., RIBEIRO, M. M., MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. Caracterização de Argila Utilizada para Fabricação de Cerâmica Vermelha In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2011, Porto de Galinhas. Anais do 55 Congresso Brasileiro de Cerâmica. , 2011. p.807 – 816.