

# A INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DA LAMA DE ALTO FORNO EM MASSA CERÂMICA PARA PRODUÇÃO DE TELHAS \*

Roberta Lima de Souza Costa<sup>1</sup>

Geyna Evellyn Silva de Jesus<sup>2</sup>

Alisson Clay Rios da Silva<sup>3</sup>

Sérgio Neves Monteiro<sup>4</sup>

Verônica Scarpini Candido<sup>5</sup>

## Resumo

Este estudo tem por objetivo avaliar a influência da incorporação de 5 e 10% em peso de lama de alto forno na massa argilosa, ambas provenientes do estado do Pará, Brasil. Inicialmente a matéria-prima e o resíduo foram beneficiados a diminuição do tamanho das partículas. Posteriormente submetidos a ensaios de FRX, EDS, DRX, TG/DTG e distribuição dos tamanhos das partículas. Foram preparados corpos de prova por prensagem uniaxial de 20 Mpa para queima em um forno de laboratório, do tipo mufla, na temperatura de 850°C. Foram avaliados, AA, RLQ e resistência à flexão de três pontos. Os resultados mostraram que a lama de alto forno é constituída predominantemente de compostos de ferro, que contribui na colocação avermelhada na peça sinterizada. O resíduo apresenta uma granulometria favorável a adição em massa argilosa, não alterando as propriedades tecnológicas. Assim, conclui-se que a composição com adição de 5% de lama de alto forno foi a que apresentou resultados favoráveis e exigidos por normas para a fabricação de telhas.

**Palavras-chave:** Cerâmica Vermelha; Lama de alto forno; Telhas.

## THE INFLUENCE OF THE INCORPORATION OF THE MUD OF HIGH OVEN IN CERAMIC MASS FOR THE PRODUCTION OF TILES

### Abstract

The aim of this study was to evaluate the influence of the incorporation of 5 and 10wt.% by weight of blast furnace sludge in clay, both from the state of Pará, Brazil. Initially the raw material and the residue benefited the decrease of the particle size. Afterwards they were submitted to FRX, EDS, XRD, TG / DTG and particle size distribution. Test specimens were prepared by uniaxial pressing of 20 MPa for burning in a laboratory furnace, muffle type, at a temperature of 850°C. AA, RLQ and three-point flexural strength were evaluated. The results showed that the blast furnace sludge consists predominantly of iron compounds, which contributes to the reddish placement in the sintered part. The residue presents a granulometry favorable to the addition in clayey mass, without altering the technological properties. Thus, it was concluded that the composition with addition of 5wt.% of blast furnace sludge was the one that presented favorable results and required by norms for the manufacture of tiles.

**Keywords:** Red ceramics; Blast furnace sludge; Tiles.

<sup>1</sup> Engenheira de Produção. Mestra em Engenharia de Processos, Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém - PA, Brasil.

<sup>2</sup> Graduada em Engenharia de Materiais, Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Ananindeua-PA, Brasil.

<sup>3</sup> Químico industrial, Doutor em Ciência dos Materiais, Professor Adjunto I, Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Ananindeua-PA, Brasil.

<sup>4</sup> Engenheiro de Materiais, PhD em Engenharia e Ciência dos Materiais, Professor, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais/Departamento de Engenharia mecânica e Materiais, Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>5</sup> Bióloga, Doutora em Ciência dos Materiais, Professora Adjunta I, Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Ananindeua-PA, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento das atividades industriais no mundo e a falta de gestão com os resíduos gerados nessas indústrias e a preocupação com as consequências desses descartes têm promovido pesquisas com propostas para uma destinação correta desses resíduos industriais [1].

Diversos tipos de resíduos são produzidos e as formas de descarte por vezes são ineficientes ou inadequadas. Nos últimos anos, a reutilização de vários resíduos sólidos vem crescendo e a utilização desses materiais como constituintes mássicos em cerâmica vermelha é uma alternativa viável para descartar sem agredir o ambiente e melhorar as propriedades das peças cerâmicas [2].

Estudos realizados sobre a incorporação da lama de alto forno mostraram que é vantajosa a incorporação desse resíduo, em pequenas quantidades na massa argilosa, do ponto de vista econômico, pois proporciona uma economia no consumo de combustível durante a queima da cerâmica devido à combustão dos finos de coque. Além de ser uma atitude ambientalmente correta para a destinação final do material [3].

Os resíduos industriais podem ser incorporados em matriz cerâmica e contribuir significativamente para a melhoria das propriedades tecnológicas das peças cerâmicas [4].

Atualmente, observa-se que em muitas cerâmicas, há uma maior preocupação em formular composições que apresentem melhores parâmetros tecnológicos e há maior controle de qualidade do produto final. Essas mudanças no processo produtivo proporcionam maior economia de energia e maior lucro no produto final [5].

Dessa forma, nota-se que a incorporação de lama de alto-forno em matriz cerâmica pode ser uma alternativa para destinação final ambientalmente correta desse resíduo e contribuir para melhorar as propriedades tecnológicas das cerâmicas queimadas. Assim, este trabalho tem por objetivo caracterizar a lama de alto forno da atividade siderúrgica do estado do Pará para sua utilização como constituinte mássico em argilas para produção de telhas

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Materiais e Métodos

Foram utilizados para este estudo argila forte (AFO), argila fraca (AFR) e a lama de alto forno (LAF). As matérias-primas assim como o resíduo foram encaminhados para a etapa de beneficiamento no Laboratório de Síntese de Materiais Cerâmicos – LASIMAC da UFPA, foram submetidos a secagem em estufas a 110°C por 24 horas e, em sequência, foram desagregados em um moinho de jarro em cerâmica sinterizada sobre rolos motorizados, após essa etapa, os materiais foram peneirados em peneira de 325 *mesh*.

As identificações dos componentes químicos presentes no resíduo foram realizados em espectrofotômetro de fluorescência de raios-x, utilizando o equipamento Axios Minerals da PANalytical do laboratório de Geociências da UFPA. Já as identificações das argilas foram realizadas em espectrometria de raios-x (EDS) no Laboratório de Pesquisa e Análise de Combustível – LaPAC da UFPA. Foi utilizado o equipamento Espectrometria de raios x – 720X, marca Shimadzu Corporation.

A difração de raios-x das argilas foi realizado no Laboratório de Eco compósitos da Engenharia Mecânica da UFPA, onde o ensaio se deu em amostras na forma de pó compactado utilizando o difratômetro da marca Bruker, modelo D2- Phaser. Em relação a lama de alto forno o ensaio foi realizado no laboratório de ensaios minerais raios-x do Instituto de Geociências da UFPA, onde a amostra também se deu em forma de pó utilizando o difratômetro de Raios-X Empyrean, da marca PANalytical. A distribuição de tamanho de partículas foi realizada pelo método combinado de sedimentação e peneiramento, de acordo com a 7181/2016 [6]. Baseando-se na Lei de Stokes (Equação 1), onde a velocidade terminal de sedimentação depende do tamanho da partícula e viscosidade do fluido determinado. A velocidade foi determinada por:

$$V = \frac{(\rho - \rho_f)gd^2}{18\mu} \quad (1)$$

Onde:

V= velocidade terminal (m/s);

g= gravidade (m/s<sup>2</sup>);

d= representa diâmetro esférico equivalente da partícula (m);

$\rho$ = massa específica do material (kg/m<sup>3</sup>);

$\rho_f$ = representa massa específica do fluido (kg/m<sup>3</sup>);

$\mu$  = viscosidade dinâmica do meio fluido (N.s/m<sup>2</sup>).

Após essa etapa, foram elaboradas, três composições, assim definidas: uma somente com a argila forte e argila fraca (AFOAFR) e as demais correspondentes à incorporação do resíduo na massa argilosa, nos percentuais de 5% (AFOAFR5LAF) e 10% (AFOAFR10LAF) em peso, com 20 copos de prova para cada composição, totalizando assim 60 corpos de prova. Após a preparação da massa o material foi acondicionado em sacolas plásticas e deixado em repouso por 24 horas para assegurar a homogeneidade da umidade nas massas. Obtida as massas homogêneas, foram moldados corpos de prova em matriz de aço com 80g de massa e dimensões exigidas pela NBR 5738 (ABNT, 2015) de aproximadamente 10,0 x 5,0 x 1,0 cm. Para esta conformação utilizou-se uma prensa hidráulica manual Karl Kolb scientific technical Suplies D-6072 de fabricação alemã com uma prensagem uniaxial de 100KN.

Depois da etapa de conformação os corpos de prova foram colocados a temperatura ambiente por 24 horas, após foram medidos e pesados. Em seguida colocados na estufa para secagem onde permaneceram por mais 24 horas a uma temperatura de 105°C ± 5°C. Após essas etapas todos os corpos de prova foram pesados e medidos para o cálculo da retração linear de secagem.

Para a absorção de água os corpos de prova foram completamente imersos em água fervente por 2h e posteriormente pesados em balança digital de marca EVEN, modelo BL-320AB-BI (precisão 0,1g).

A medida da absorção de água foi efetuada através da Equação 3:

$$AA (\%) = \frac{(M_u - M_s)}{M_s} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

$M_u$ = peso do corpo de prova úmido (em g);

$M_s$ = peso do corpo de prova seco (em g).

Os corpos feitos de argila sofrem retração (redução de tamanho) após a secagem e após a queima. Essa retração é devida após à eliminação de água usada na formação dos corpos [9]. O autor relata que com a eliminação da água e o surgimento de vazios deixados por ela, ocorre uma aproximação das partículas em face das forças de tração eletrostáticas, provocando um adensamento ou aglomeração. Após a queima, a retração é consequência do fenômeno de sinterização.

As dimensões das peças secas sinterizadas foram medidas com o auxílio de um paquímetro digital Mitutoyo (resolução  $\pm 0,01\text{mm}$ ). Posteriormente foi calculada a retração das peças queimadas através da Equação 3:

$$RLq (\%) = \frac{L_s - L_q}{L_s} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

RLq = Retração Linear de queima;

$L_s$  = Comprimento do corpo de prova seco;

$L_q$  = Comprimento do corpo de prova após queima.

O ensaio da resistência à flexão foi determinado de acordo com a norma ASTM D-C674 – 13, em máquina universal de ensaios de acionamento mecânico, marca Emic DL2000, com velocidade igual a 5mm/min.

O módulo de resistência à flexão (MRF) determina o valor da carga que, aplicada ao corpo de prova, causa uma ruptura após o aumento uniforme desta, sendo o módulo de ruptura à flexão calculada pela Equação 4:

$$MRF_{(Mpa)} = \frac{3P_R L}{2l_R h_R^2} \quad (4)$$

Onde:

MRF = módulo de ruptura de flexão (em Mpa);

$P_R$  = Carga atingida no momento de ruptura (em N);

$L$  = Distância entre os apoios (em mm);

$l_R$  = Largura do corpo de prova (em mm);

$h_R$  = Altura do corpo de prova (em mm).

## 2.2 Resultados e Discussão

A figura 1 e 2 apresentam os resultados de DRX das argilas e da lama de alto forno.

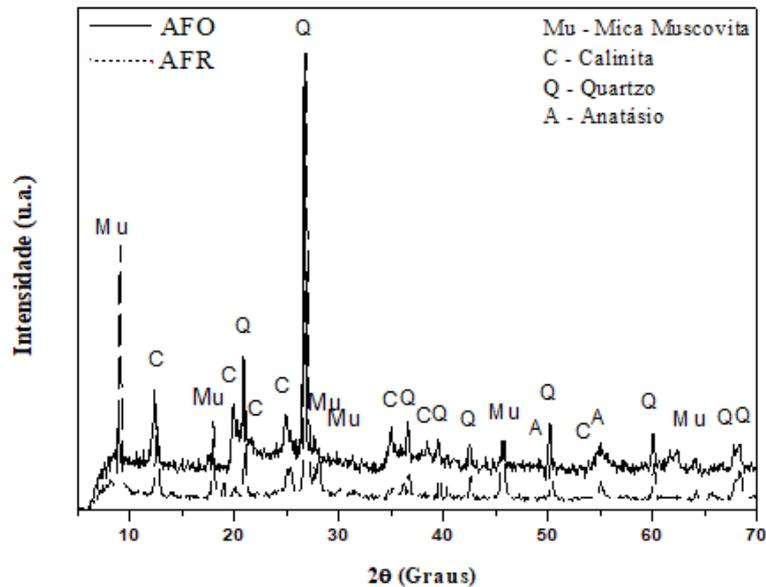


Figura 1. Difratograma de RX das argilas.

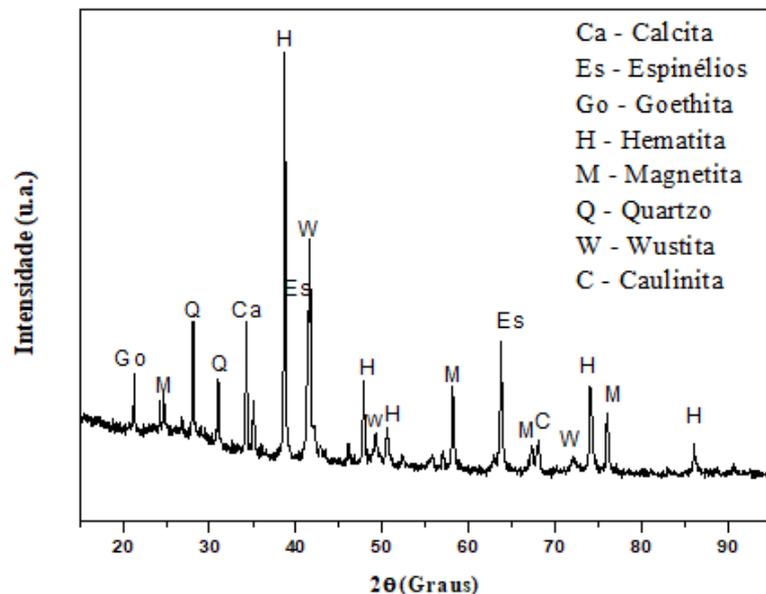


Figura 2. Difratograma de RX do resíduo.

O difratograma das argilas apresentam picos predominantes referentes à caulinita. O difratograma de raios-x do resíduo mostra que ele é constituído de óxidos de ferro. A tabela 1 apresenta os resultados da espectrometria de raios-x das argilas e fluorescência de raios-x da lama de alto forno.

Tabela 1. Composição química da AFO, AFR e LAF.

Componentes	% em peso		
	AFO	AFR	LAF
SiO <sub>2</sub>	59,03	66,39	2,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,75	18,74	1,95
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,09	7,75	36,3
TiO <sub>2</sub>	1,80	1,63	0,21
MnO	--	0,65	0,38

MgO	--	--	0,30
CaO	--	0,97	4,99
K <sub>2</sub> O	3,31	4,36	0,30
SO <sub>3</sub>	--	--	0,80
ZnO	--	--	0,49
Cl	--	--	0,65
PF	12,19	5,38	50,8

PF: perda ao fogo.

A massa argilosa apresenta uma composição química de material caulinitico. Já o resíduo é constituído de compostos de ferros, ambos conforme indicado no DRX. A figura 3, e 4 e 5 apresentam TG/DTG das argilas e do resíduo.

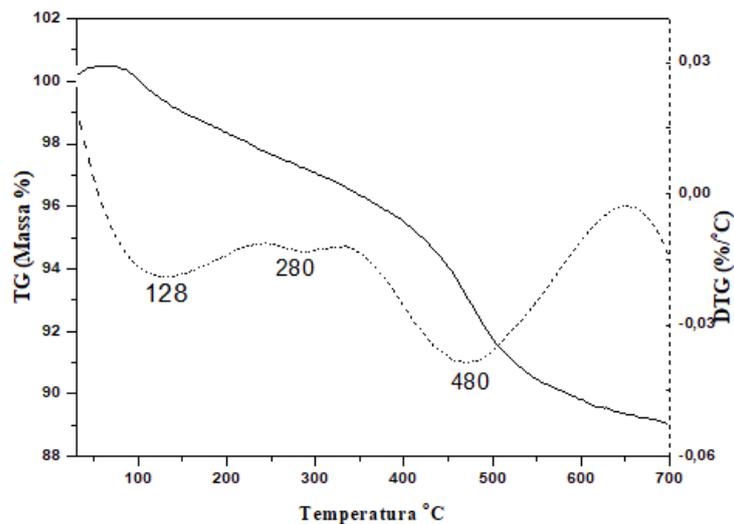


Figura 3. Curvas TG/DTG da AFO.

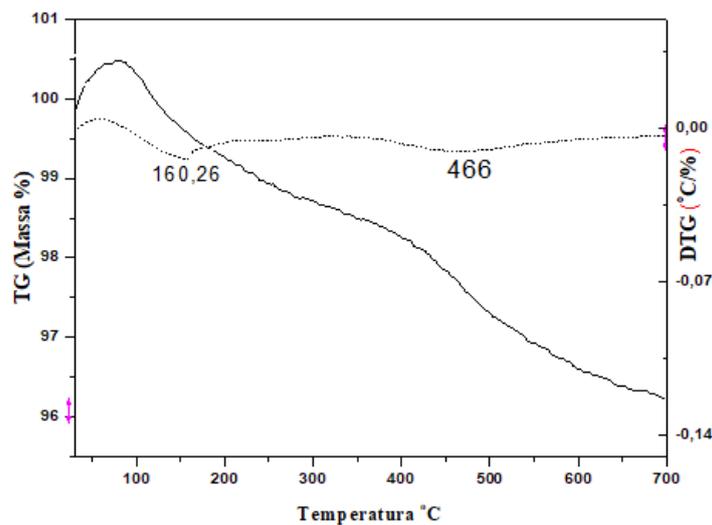


Figura 4. Curvas TG/DTG da AFR.

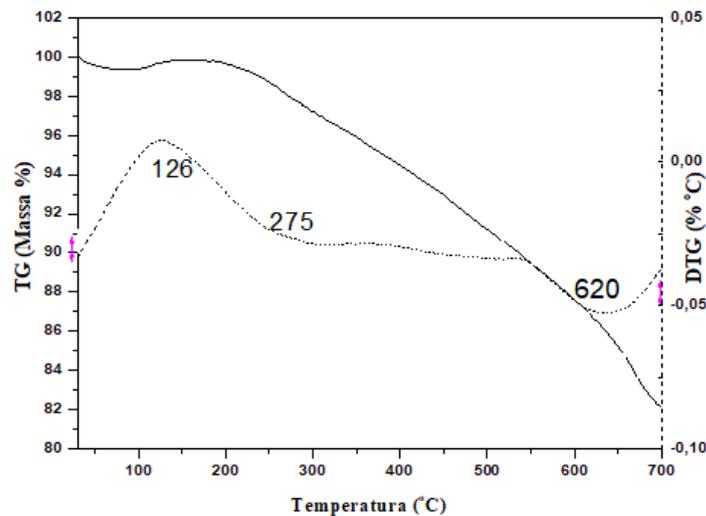


Figura 5. Curvas TG/DTG da LAF.

Nas AFO e AFR nota-se que nas temperaturas iniciais há uma perda de massa associada à perda de água por adsorção. Posteriormente, entre 445 e 480°C há outra perda de massa que está atribuída a desidroxilação da caulinita, transformando-a em metacaulinita uma fase amorfa [10].

No resíduo é possível observar uma perda de massa inicial associada à água absorvida em, aproximadamente, 126°C. Em seguida nota-se nova perda de massa entre 200 e 275°C associada à desidroxilação da goetita, identificada no DRX. Posteriormente, observa-se outra perda de massa, em aproximadamente 630°C, associada à combustão de finos de coque presente no resíduo [11, 3].

A figura 6 apresenta a curva de distribuição granulométrica das argilas, do resíduo e das composições estudadas.

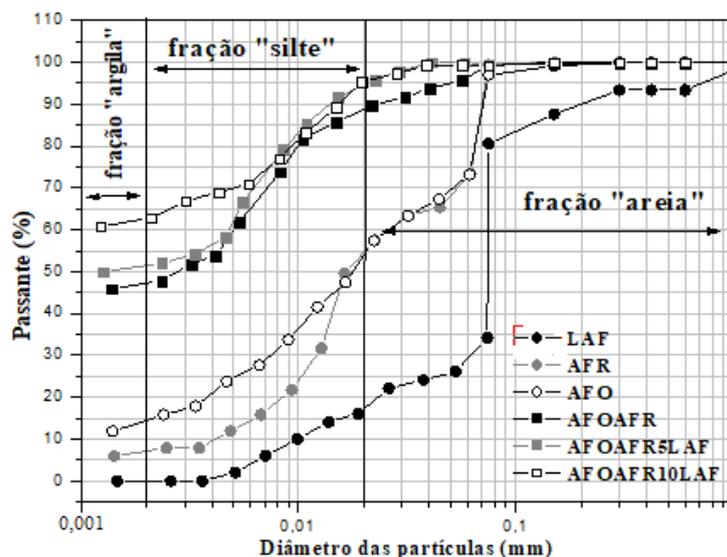


Figura 6. Curva de distribuição do tamanho das partículas das argilas, do resíduo e das composições estudadas.

Nota-se que o teor fração "argila" na AFO é igual a 14,24%, para a AFR é de 7,12%. Esse percentual da AFO acima do percentual da AFR tende a fornecer maior plasticidade comparada a AFR. Na fração "silte" o percentual para a AFO é de

45,94% e para AFR é de 47,68%. Já a LAF não é apresentada a fração “argila”, sendo a fração “areia” que apresenta maior índice granulométrico, 86%.

Nas composições estudadas observa-se que a AFOAFR foi o que apresentou baixo teor de fração “argila”, já as com adição do resíduo aumentou a fração “argila” desses materiais, esse comportamento pode estar associado ao peneiramento dessas massas, selecionando assim grãos menores [11].

A figura 7 apresenta o percentual de AA das peças queimadas.

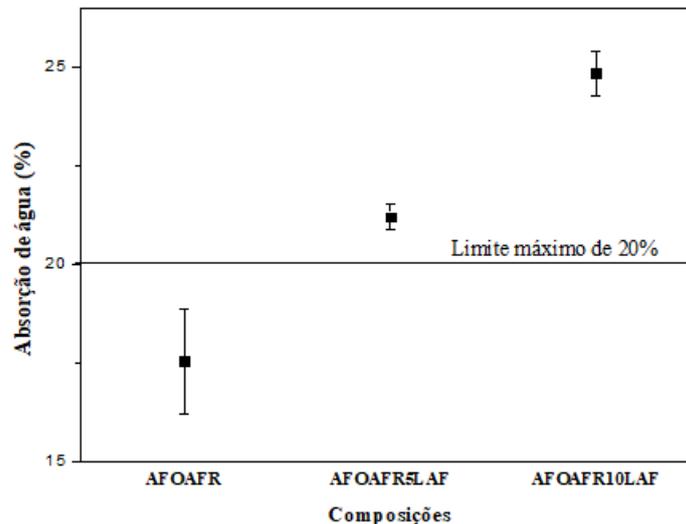


Figura 7. Absorção de água dos corpos de prova queimados na temperatura 850°C.

Nota-se aumento na absorção de água com a adição do resíduo, isso é devido a sua granulometria ser maior que a da massa argilosa.

A figura 8 apresenta o resultado da retração linear de queima, com seus desvios padrões das composições das peças queimadas.

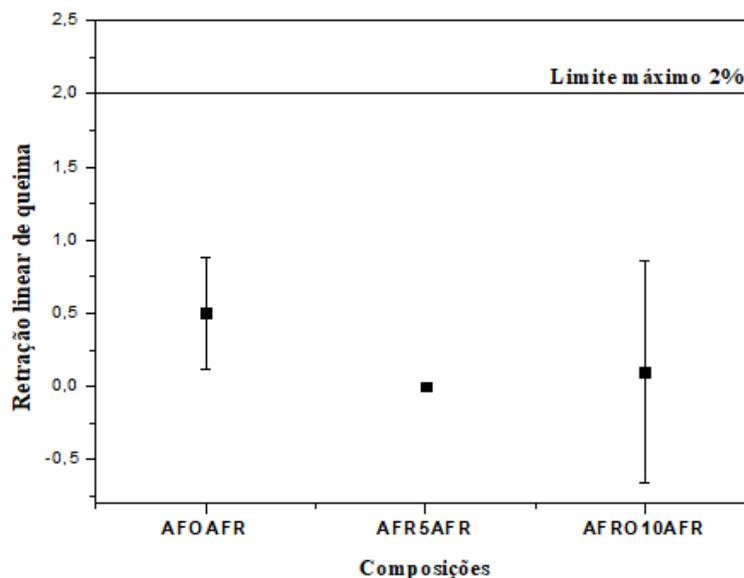


Figura 8. Retração linear de queima dos corpos de prova.

Observa-se que, as composições encontram-se abaixo do limite permitido por norma, isso é devido à combustão dos finos de coques.

A figura 9 apresenta o resultado do módulo de ruptura à flexão.

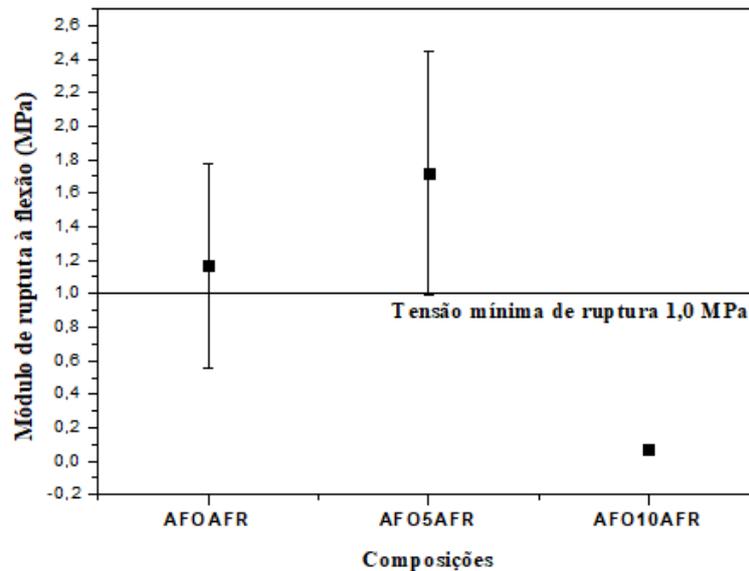


Figura 9. Módulo de ruptura à flexão dos corpos de prova.

Nota-se que houve um aumento significativo na composição de AFOAFR5LAF, de 1,72%, já na composição de AFOAFR10LAF houve uma redução na resistência mecânica, de 0,07%. O comportamento descrito relativo à redução de resistência mecânica pode ser influenciado pela baixa interação do resíduo com a matriz de aluminossilicato, proveniente das argilas [3]. De acordo com o autor o resíduo é formado predominantemente por finos de coque e óxidos férricos, os finos de coque entram em combustão contribuindo para a elevação da porosidade, enquanto que os óxidos de Ferro III se oxidam formando hematita, evidenciado assim na figura 7.

### 3 CONCLUSÃO

A incorporação da lama de alto forno em massa cerâmica revelou que uma vez que há aumento do percentual do resíduo adicionado há aumento na absorção de água, ultrapassando o limite máximo exigido por norma e somente a composição AFO10AFR ficando abaixo do limite no módulo de ruptura.

Além disso, pode-se inferir que a composição de 5% em peso, apresentou melhor desempenho tecnológico podendo ser indicado como constituinte mássico em massa argilosa.

### REFERÊNCIAS

- 1 Lima LHM; Reis SC. Aproveitamento de resíduo siderúrgico em blocos cerâmicos argilosos. E-xacta, 2013. v.6, n.2, p.69-78.
- 2 Colpaert H. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2008.
- 3 Dias CACM. Reciclagem de lama de alto forno em cerâmica vermelha. Tese. Rio de Janeiro: Universidade do Norte Fluminense, 2011.
- 4 Vieira CMF, Monteiro S N. Incorporation of solid wastes in red ceramics – an updated review. Revista Matéria, 2009.v. 14, pp. 881-905.
- 5 Ramos I S; Alves M G; Alexandre J. Diagnóstico do Polo Cerâmico de Campos dos Goytacazes – RJ. Cerâmica Industrial. São Carlos, 2006.

- 6 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 7181  
Determinação da análise granulométrica dos solos. Rio de Janeiro, (2016).
- 7 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 7180  
Determinação de limites de plasticidade: método de ensaio. Rio de Janeiro, (2016).
- 8 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 6459.  
Determinação do limite de liquidez: método de ensaio. Rio de Janeiro, (2016)
- 9 Santos OC. Formulação de bloco intertravados cerâmico com adição de resíduos urbanos e industriais. Tese. Rio Grande do Norte. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.
- 10 Candido VS. Utilização de argilito e chamote de blocos de vedação na composição de massa de pavimento intertravado cerâmico - adoquim. Mestrado. Rio de Janeiro. Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2012.
- 11 Vieira CMF; Intorne SC; Vernilli Jr F. Cerâmica vermelha incorporada com lama fina de aciaria. Revista Matéria, 2007. v. 12 nº. 2, pp. 269-275.