

# AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DE LAMA DO SISTEMA DE LAVAGEM DE GASES DE ALTO-FORNOS DE USINAS INTEGRADAS A COQUE EM TIJOLOS DE CERÂMICA VERMELHA<sup>1</sup>

Marcílio Milagres de Almeida <sup>2</sup>

## Resumo

A incorporação da lama gerada no processo de lavagem de gases de altos-fornos na fabricação de tijolos beneficia a indústria siderúrgica, contribuindo para a redução de seu passivo ambiental e pode beneficiar o setor cerâmico. Essa aplicação auxilia no processo de queima e manutenção da temperatura requerida pelo processo, além de propiciar economia no consumo de combustível primário, sem riscos para o meio ambiente. Testes realizados em nível industrial mostraram que é possível a redução de 30% no consumo de lenha com a incorporação da lama de alto-forno à argila. De acordo com os ensaios de queima, não foram observadas alterações significativas nas características cerâmicas dos corpos de prova, considerando a adição de 5% e 10% de lama à argila, para a temperatura de queima equivalente a 900 °C. Os resultados obtidos nos ensaios físicos mantiveram-se dentro das normas técnicas aplicadas para fabricação de tijolos. Os resultados de análises químicas das argilas utilizadas para fabricação dos produtos cerâmicos como da lama de alto-forno concedem-lhe a classificação como resíduo não inerte, classe II conforme a norma ABNT-NBR 10004. A adição de um percentual máximo de 10% (base seca) de lama de alto-forno à argila conferiu aos produtos cerâmicos queimados a mesma categoria de classificação dos produtos fabricados com argila pura.

**Palavras-chave:** Resíduos; Lama de alto-forno; Tijolos de cerâmica vermelha.

## SLUDGE INCORPORATION EVALUATION OF BLAST FURNACES GAS SCRUBBING SYSTEM OF COKE INTEGRATED PLANTS IN RED CERAMIC BRICKS

### Abstract

The incorporation of the sludge generated in the gas scrubbing process of blast furnaces in the brick manufacturing raw material benefits the steelworks, contributing to the reduction of environmental impact and can benefit the ceramic sector. This application helps on the burning process and on the maintenance of the required process temperature; besides that it causes a considerable reduction of primary fuel consumption, without risks for the environment. Tests performed in industrial scale have shown that a 30% reduction on the firewood consumption with blast furnace sludge incorporated in clay was possible. According to burning tests, significant alterations of the ceramic characteristics of the test specimen were not found even considering the addition of 5% and 10% of sludge in clay for the burning temperature equivalent to 900°C. The results obtained on the physical tests were kept within the technical standards applied for brick manufacturing. The clay analysis results used for manufacturing ceramic products as well as the blast furnace sludge analysis results showed that they might be classified as non-inert waste, class II individually according to ABNT-NBR 10004 standard. The burnt ceramic products obtained from a raw material mix of 10% blast furnace sludge and 90% clay could also be classified as class II.

**Key words:** Residues; Blast furnace sludge; Red ceramic brick.

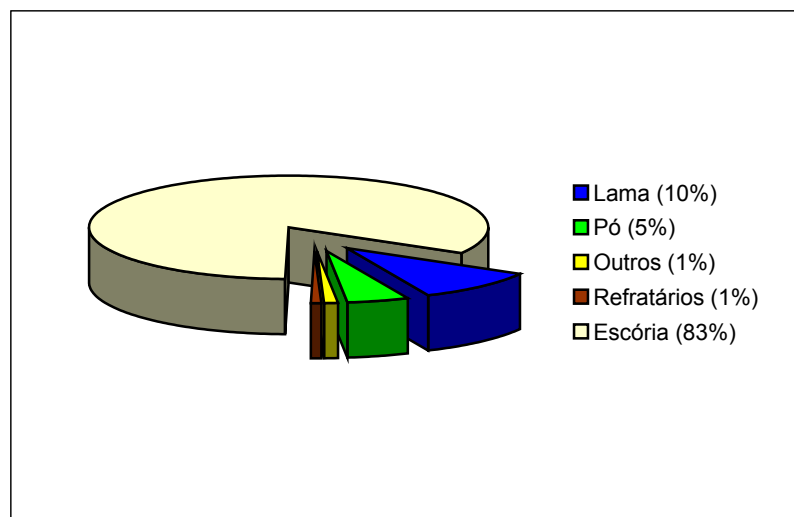
<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao XXVIII Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades, 15 a 17 de agosto de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheiro de Projetos de Utilidades, Gerdau Açominas.*

## 1 INTRODUÇÃO

No processo siderúrgico integrado tem-se o processamento de grande quantidade de matérias-primas, o que implica na geração de considerável quantidade de resíduos, possuindo, portanto, um elevado potencial poluidor. A produção de uma tonelada de aço requer duas toneladas de materiais primários e auxiliares. Isto significa que a produção de uma tonelada de aço gera uma outra tonelada de subprodutos e resíduos. A média brasileira de geração de resíduos é da ordem de 600 kg/t aço.

Os resíduos sólidos gerados numa siderúrgica integrada podem ser classificados em: 83% escória, 10% lama, 5% pó, 1% refratários e 1% outros resíduos. Conforme apresentado na Figura 1, as escórias e lamas geradas nos processos constituem maior percentual de resíduos sólidos.



Fonte: Adaptado de Fleischanderl et al.<sup>(1)</sup>

**Figura 1.** Classificação dos resíduos sólidos gerados numa siderúrgica integrada

Soluções tecnológicas e ambientais integradas tornaram-se um desafio para a indústria siderúrgica na busca de otimização dos sistemas, minimização das emissões ambientais e promoção de reciclagem de produtos e subprodutos.

Uma parcela significativa de subprodutos pode ser retornada com sucesso nas várias etapas de produção de usinas integradas. Apesar do alto índice de reaproveitamento de resíduos, atualmente, cerca de 5 % dos resíduos gerados são ainda descartados.

Nos últimos anos, as indústrias siderúrgicas têm adotado um modelo de gestão ambiental baseado nas Normas ISO 14001.<sup>(2)</sup> Dentro desse sistema de gestão, o gerenciamento de resíduos industriais tem como objetivo minimizar a geração desses resíduos e procurar alternativas técnicas viáveis para a sua destinação.

O desenvolvimento tecnológico aliado a novas técnicas de gerenciamento ambiental é necessário para a efetiva diminuição da poluição e o reaproveitamento dos resíduos dentro do próprio processo ou por outras indústrias. Esses materiais, antes tratados exclusivamente como descartes naturais, com o passar dos anos transformaram-se em subprodutos que na atualidade geram receita e aumentam o rendimento dos processos.

A valorização de um resíduo, se tecnicamente viável, é uma alternativa superior ao seu descarte, pois contribui para a solução de um problema ambiental; pode reduzir custos de produção e custos para disposição final dos resíduos não valorizados; além de permitir a recuperação de matérias-primas e combustíveis e, em alguns casos, gerar novos produtos.

Dentro desta realidade de custos e meio ambiente, tem-se a classificação dos resíduos de acordo com características químicas e físicas, e seu conseqüente reaproveitamento, sendo este diretamente no processo, ou em outros processos atendendo a clientes externos.

A incorporação da lama gerada no processo de lavagem de gases de alto-fornos na fabricação de tijolos beneficia a indústria siderúrgica, contribuindo para a redução de seu passivo ambiental, sendo, portanto, uma alternativa técnica que deve ser considerada e estudada quanto aos benefícios para o setor cerâmico e aos possíveis impactos decorrentes de sua utilização.

Segundo estudos do Senai,<sup>(3)</sup> no Brasil estima-se cerca de 11000 empresas do setor cerâmico, em sua maioria micro ou de pequeno porte e possuem expressiva influência no desenvolvimento social e econômico do país. Como a maioria das empresas possui estrutura simples e familiar, existe a necessidade de investimentos na melhoria da qualidade e produtividade, frente a um mercado cada vez mais competitivo.

As indústrias do setor de cerâmica vermelha ou estrutural, utilizam em sua grande maioria, lenha como combustível para secagem e queima dos produtos, devido à concepção bastante primitiva dos fornos e controle operacional bastante deficitário.

Hoje as empresas que não possuem programas de replantio passam por dificuldades de abastecimento de lenha para utilização nos fornos, exigindo, assim, a compra de madeira, o que tem aumentado o custo de produção.

Segundo Searle,<sup>(4)</sup> a adição de finos de material carbonoso como carvão (ou de preferência o coque) requer menos combustível a ser usado do que quando o total de combustível é queimado externamente aos tijolos.

O presente trabalho avalia a incorporação da lama do sistema de lavagem de gases de alto-fornos de siderúrgicas integradas a coque em tijolos de cerâmica vermelha. Através de realização de testes em escala piloto e em nível industrial pretende-se identificar possíveis interferências na qualidade do produto em função do percentual de lama utilizado na mistura com argilas e os impactos ambientais resultantes dessa incorporação.

## **Descrição do Processo de Lavagem de Gás de Alto-Fornos**

O gás gerado no alto-forno durante o processo da redução da carga é utilizado como combustível em vários pontos na própria usina siderúrgica, em fornos de reaquecimento, coqueria, caldeiras para geração de vapor e no próprio alto-forno. Para que a sua utilização seja viável, ele necessita ser limpo e conter um teor de pó em torno de 5,0 mg/Nm<sup>3</sup>, para evitar redução da eficiência térmica dos sistemas de combustão e outros problemas operacionais.

O sistema de limpeza de gás é composto de três equipamentos instalados em série: balão de pó; primeiro venturi e segundo venturi.

Na primeira etapa, a limpeza é realizada a seco no balão coletor de pó, do tipo gravimétrico, que tem por finalidade reter as partículas mais pesadas e possui eficiência da ordem de 66% a 75%, dependendo do fluxo de gás e da pressão do forno. O pó, através da perda de velocidade, decanta no fundo do equipamento, de onde é retirado posteriormente.

A segunda etapa da limpeza é úmida e é realizada em dois estágios, sendo utilizados, para esse fim, dois venturis colocados em série.

As partículas de pó decantadas no fundo dos venturis são retiradas sob a forma de lama, sendo transferidas para um tanque intermediário e, posteriormente, transferidas para o sistema de recirculação de água do alto-forno. A água de retorno dos venturis contém cerca de 4000 mg/l de sólidos suspensos.

O sistema de recirculação de água do alto-forno tem a função de recuperar a água utilizada no sistema de limpeza de gases. O processo conta as seguintes etapas: coagulação, adensamento e desidratação do lodo adensado. A lama, após desidratação no filtro a vácuo, é enviada para as indústrias cerâmicas.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

Neste capítulo são apresentadas as etapas utilizadas para realização da pesquisa experimental em nível de laboratório para quatro empresas do setor de cerâmica vermelha que utilizam a lama gerada no processo de lavagem de gases de uma usina siderúrgica integrada a coque.

A metodologia adotada também segue instruções da Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM, da Divisão Dimet, de 11.12.2000 – “Informações necessárias para utilização de resíduos em cerâmica”.

Como essas instruções limitam o máximo de 10% de lama de lavagem de gases de alto forno a ser incorporada na argila, optou-se por desenvolver a pesquisa utilizando concentrações de lama na mistura de 5 e 10% em peso – base seca.

### **2.1 Amostragem**

Foram utilizadas amostras de argilas de quatro indústrias cerâmicas e lama de alto-forno de uma indústria siderúrgica integrada, todas localizadas em Minas Gerais.

As argilas foram retiradas do estoque, após extração das respectivas jazidas, sendo feita a coleta de uma amostra composta nas pilhas de estocagem em vários pontos e profundidades, sendo em seguida, feita uma homogeneização e mantidas em estufa à temperatura de 105°C, por 24 horas. Ao resfriar, promoveu-se a desaglomeração e posterior peneiramento em malha de 30 mesh (abertura de 0,589 mm) para separação da fração grosseira. Em seguida, as amostras foram armazenadas em recipientes de plásticos (capaz de manter as propriedades e características do material) e devidamente identificadas.

A lama de Alto Forno foi coletada em períodos diferenciados e de forma aleatória, sendo depois homogeneizada e tratada conforme mencionado para as argilas.

## **2.2 Caracterização e Classificação da Lama de Alto-forno e Argilas**

Uma parcela das amostras reservadas foi enviada para laboratórios contratados, onde foram realizadas análises de caracterização e classificação das mesmas, seguindo a norma ABNT-NBR10004,<sup>(5)</sup> incluindo-se os ensaios de massa bruta, lixiviação e solubilização, conforme as normas técnicas ABNT-NBR10005<sup>(6)</sup> e NBR 10006.<sup>(7)</sup> O restante das amostras foi utilizado para confecção dos corpos de prova para ensaios em laboratório, objetivando a avaliação de suas propriedades como produtos cerâmicos e os aspectos ambientais envolvidos.

As análises foram realizadas utilizando como referência analítica o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 20<sup>a</sup> edição.

Para análise do poder calorífico da lama de alto-forno utilizou-se um calorímetro marca Yoshida, da Seisakushu Co. Ltd., e metodologia ANSI/ASTM D 2015-66 Standard Test Method for Gross Calorific Value of Solid Fuel By the Adiabatic Bomb Calorimeter. O método baseia-se na combustão de uma amostra rica em oxigênio, e o calor liberado é calculado a partir da elevação da temperatura.

A composição química das argilas foi determinada por fluorescência de raios-X, conforme metodologia EPA.

## **2.3 Realização de Testes com Corpos de Prova**

Os corpos de prova foram preparados e queimados utilizando-se as amostras das matérias-primas reservadas, produzindo-se no mínimo 5 corpos para cada ensaio, utilizando na mistura concentrações de 0%, 5% e 10% (em peso, base seca) de lama de alto-forno.

Após homogeneização do material, os moldes cilíndricos são cheios com as misturas, promovendo a compressão da massa moldada com auxílio de um êmbolo, de forma a evitar a presença de vazios e trincas após a secagem.

Em seguida, remove-se o corpo de prova do molde, mantendo-o à temperatura ambiente por 24 horas. Os corpos de prova são então levados à estufa para secagem final, à temperatura de 105 °C, por mais 24 horas.

Os moldes para preparação dos corpos de prova foram confeccionados em um cilindro vazado de aço carbono, com uma altura de 9,1 cm, diâmetro interno de 5,1 cm e externo de 7,6 cm. Para fazer a compressão da mistura dentro do molde foi utilizado um êmbolo de aço carbono, altura de 19,5 cm e diâmetro 5,0 cm.

Os corpos de prova foram submetidos à queima simulando-se as condições operacionais do perfil térmico do forno da indústria cerâmica, estabelecendo-se um tempo ideal, entre aquecimento e queima de 5 horas, a um gradiente de temperatura médio de 5°C/minuto, com permanência de duas horas à temperatura máxima de queima de 900°C, seguido de resfriamento natural por aproximadamente 24 horas.

## 2.4 Ensaios Físicos

A Tabela 1 apresenta os testes físicos que foram realizados para se obter dados comparativos, objetivando demonstrar a performance da incorporação da lama de alto-forno às argilas.

**Tabela 1.** Ensaios físicos.

Ensaio	Valores Típicos	Referência
Cor após queima 900 °C (Observação visual)	Amostra bruta – vermelhas, marrons, verdes e pretas. Após queima à 950°C – vermelha. 1250°C – preta.	Dicionário de cores de Munsell
Perda ao fogo	Valores acima 14% indicam a presença de matéria orgânica	SINGER <i>et al.</i> <sup>(8)</sup>
Retração linear (Paquímetro)	Argilas glaciais para tijolos: 3 – 7 %	NORTON <sup>(9)</sup> ABNT- NBR 6225 <sup>(10)</sup>
Absorção de água	Absorção de Água – 8 - 25%	Norma: ABNT-NBR 7170 <sup>(11)</sup>
Densidade aparente (DA)	Densidade Aparente: 1,6 – 2,1 g/m <sup>3</sup>	Norma: ABNT-NBR 6220 <sup>(12)</sup>
Porosidade aparente (P) (Balança analítica)	Porosidade Aparente: 5-35%	SANTOS <sup>(13)</sup>
Resistência à compressão	Tijolos maciços > 1,5 Mpa. Blocos vedação > 1,0 MPa Blocos estruturais > 4,5 MPa	Norma: ABNT-NBR-7170 <sup>(11)</sup> Norma: ABNT-NBR-7171 <sup>(14)</sup>
Resistência mecânica à flexão (Máquina ensaio universal –Monsato)	Após secagem (110 °C): 7-70 kgf/cm <sup>2</sup> . Tijolos Furados: > 25 kgf/cm <sup>2</sup> Após queima (950°C): 60 – 305 kgf/cm <sup>2</sup> . Tijolos furados: > 55 kgf/cm <sup>2</sup>	Faixas de variação das propriedades cerâmicas Santos <sup>(12)</sup>
Densidade real (Picnômetro de hélio - Micrometrics)	2,60 – 2,70 g/cm <sup>3</sup>	SANTOS <sup>(13)</sup>
Distribuição do tamanho de partículas (µm)	Composição granulométrica (%) < 2 µm	SANTOS <sup>(13)</sup> SINGER <i>et al.</i> <sup>(8)</sup>

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Composição Química da Lama de Alto-forno

A Tabela 2 apresenta os resultados da composição química da lama de alto-forno.

Tabela 2. Composição química da lama de alto-forno.

Determinações (%)													
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Mn-T	FeO	Fe-T	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	S	C	P	Zn
Lama AF	1,56	5,80	0,36	0,28	26,34	20,47	0,24	2,09	0,87	0,65	28,4	0,04	0,38

A lama de alto-forno apresenta elevada concentração de óxidos de ferro, o que contribui para aumentar a cor avermelhada dos tijolos. A quantidade de carbono e o PCI (poder calorífico inferior) de 2700 kcal/kg em comparação ao PCI da lenha (4200 kcal/kg) indicam que o resíduo auxilia no processo de queima dos tijolos, podendo diminuir o consumo de combustível.

#### 3.2 Classificação de Resíduos

A lama de alto-forno e as argilas foram caracterizadas e classificadas segundo a norma ABNT NBR – 10004,<sup>(4)</sup> através das análises de solubilização, lixiviação e amostra bruta. Os mesmos testes foram realizados com os corpos de prova após a queima nas concentrações de 0%, 5% e 10% e em escala industrial na concentração de 5%. Avaliando os resultados, observa-se que a lama de alto-forno e argilas foram classificadas como classe II, não sendo ultrapassado nenhum dos valores máximos permissíveis estabelecidos pelos ensaios de lixiviação e massa bruta. No ensaio de solubilização, alguns elementos tiveram seus valores acima do permitido na norma.

#### 3.3 Ensaios Tecnológicos

As Figuras 2, 3 e 4 apresentam os resultados de absorção de água, porosidade e massa específica aparente (MEA).

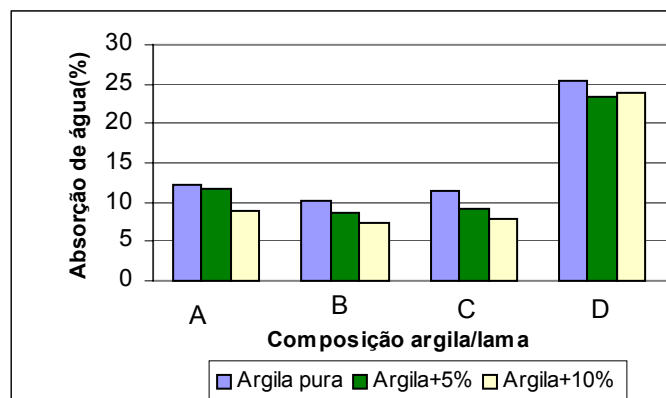
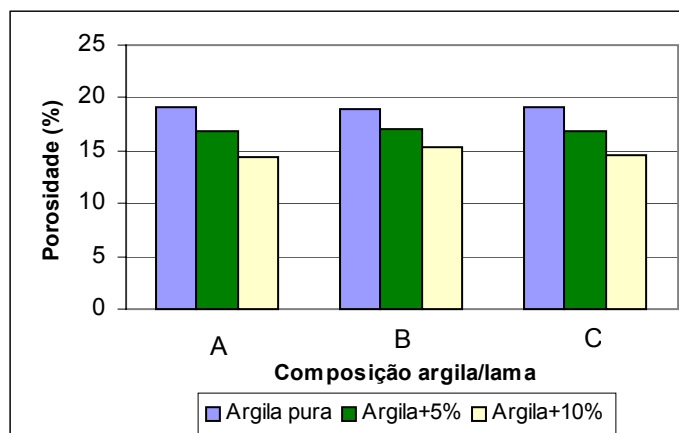
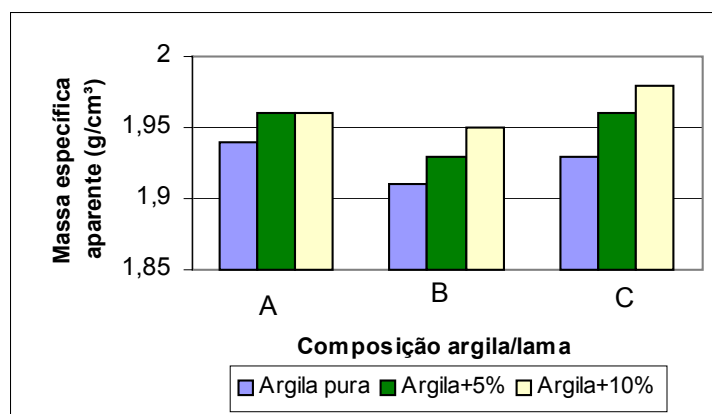


Figura 2. Absorção de água em função da composição argila/lama



**Figura 3.** Porosidade em função da composição argila/lama.



**Figura 4.** Massa específica aparente em função da composição argila/lama

De acordo com a normalização para blocos cerâmicos, observou-se que todas as composições apresentaram valores de absorção de água dentro da faixa especificada. Observa-se que, em relação à argila pura, tanto para as propriedades de absorção de água quanto para a porosidade, houve redução de valores com a adição da lama de alto-forno. Valores de absorção de água acima de 25% são prejudiciais, pois, as paredes construídas com estes tijolos podem sofrer aumento de carga quando expostos à chuva, podendo causar danos estruturais à construção.

Em relação à massa específica aparente, houve pequena variação com a adição da lama e os resultados mantiveram-se dentro da faixa de 1,6 a 2,1 g/m<sup>3</sup> citada por Santos.<sup>(12)</sup>

As Figuras 5, 6 e 7 mostram as retrações de queima, perda ao fogo e módulos de ruptura à flexão a 900°C ocorrida nos corpos de prova.



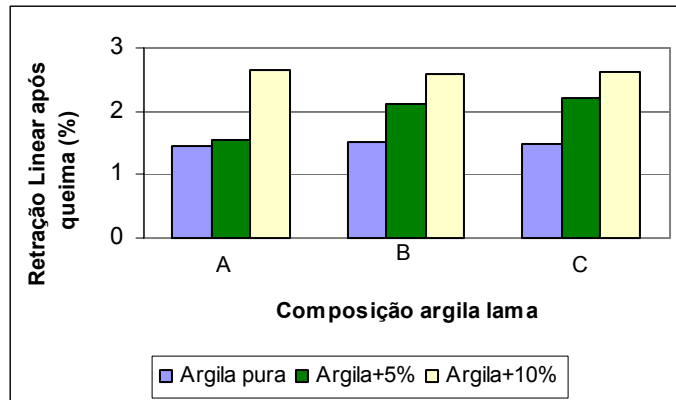


Figura 5. Retração linear em função da composição argila/lama.

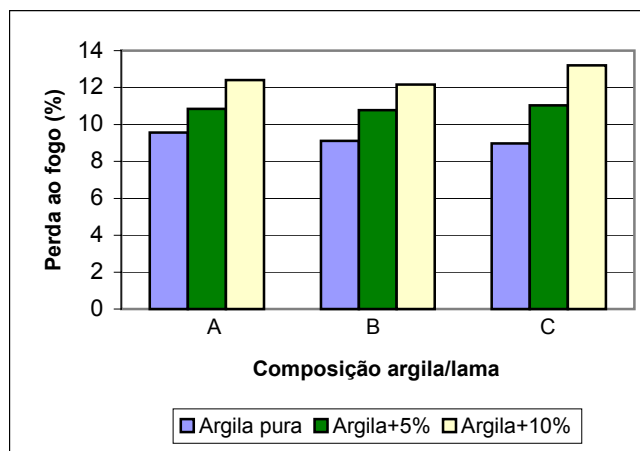


Figura 6. Perda ao fogo em função da composição argila/lama.

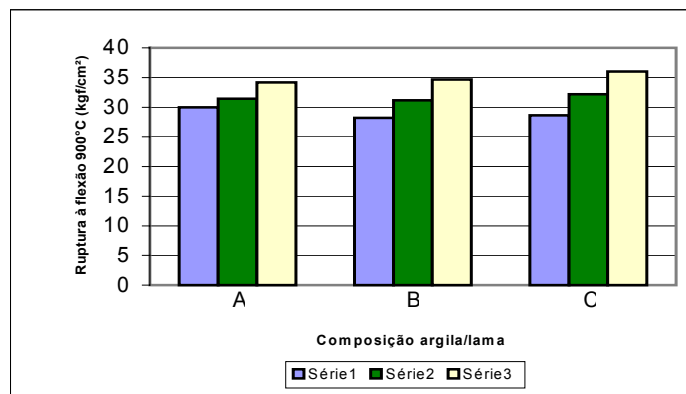


Figura 7. Módulo de ruptura à flexão em função da composição argila/lama.

A retração de queima aumenta com a incorporação da lama de alto-forno. O mesmo ocorre com a perda ao fogo, devido à incorporação de material carbonoso à massa cerâmica.

Observa-se que os valores apresentados para o módulo de ruptura à flexão estão abaixo do valor citado por Santos<sup>(13)</sup> para blocos furados (>55 kgf/cm<sup>2</sup>), independente da concentração de resíduo utilizado.

A Figura 8 demonstra o aumento do módulo de ruptura à flexão em função da redução da porosidade.

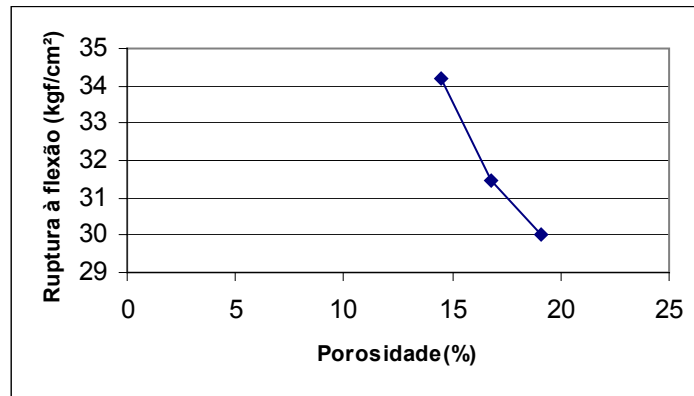


Figura 8. Módulo de ruptura à flexão em função da porosidade.

A Tabela 3 mostra os resultados de resistência à compressão para os corpos de prova referentes à cerâmica D, na temperatura de 850 °C.

Tabela 3. Resistência à compressão

Amostra	Resistência à compressão (MPa)
Argila D	12,49
Argila D + 5% Lama	11,92
Argila D + 10% Lama	11,76

Em relação à resistência à compressão simples, houve decréscimo nos valores quando comparados aos confeccionados com argila pura, porém, pode-se observar que todas as composições apresentaram valores de resistência à compressão dentro da faixa especificada para blocos estruturais (>4,5 MPa).

Testes realizados em 13 blocos estruturais de dimensões 29x19x14 (cm) utilizando 5% de lama de alto-forno na massa cerâmica apresentaram resultado médio de 7,5 MPa.

### Cor após queima

Os corpos de prova apresentaram a cor vermelha após a queima a 900°C.

## 4 CONCLUSÕES

Este trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da incorporação da lama do sistema de lavagem de gases de alto-fornos de usinas integradas a coque em tijolos de cerâmica vermelha. Com base nos resultados pode-se chegar às seguintes conclusões:

- Devido a produção de aço envolver grande variedade de processos e esses possuem altos índices de geração de resíduos, com propriedades físicas e químicas diversas, torna-se vital o desenvolvimento de tecnologias e equipamentos visando a minimização, reutilização e reciclagem desses resíduos;
- As organizações devem agregar um máximo valor a seus produtos e processos com um mínimo uso de matérias-primas e energia e com um mínimo de contaminação ambiental. O conceito de eco-eficiência deve ser cada vez mais um fator essencial para medir as vantagens competitivas das empresas;
- A incorporação da lama gerada no processo de lavagem de gases de alto-fornos em tijolos de cerâmica vermelha é possível e apresenta vantagens principalmente na diminuição do consumo de combustível nos processos de secagem e queima, devido ao alto teor de carbono com significativo poder calorífico, suficiente para incrementar o processo de combustão, além de proporcionar ao produto uma tonalidade atrativa para a comercialização;
- De acordo com os ensaios de queima, não foram observadas alterações significativas nas características cerâmicas dos corpos de prova, considerando a adição de 5% e 10% de lama à argila, para a temperatura de queima equivalente a 900 °C. Os resultados obtidos nos ensaios físicos mantiveram-se dentro das normas técnicas aplicadas para fabricação de tijolos;
- A utilização de um percentual acima do ideal pode comprometer a qualidade dos produtos, ocasionando, por exemplo a “requeima”, a redução da porosidade e alterações na qualidade dimensional dos produtos, devido a variações na retração linear;
- A utilização da lama na fabricação de tijolos, considerando uma dosagem percentual máxima de 10%, apresenta resultados viáveis, tanto do ponto de vista ambiental, quanto da qualidade técnica final dos produtos;
- Os resultados de análises das argilas utilizadas para fabricação dos produtos cerâmicos como da lama de alto-forno concedem-lhe a classificação como resíduo não inerte, classe II (classe II A). A adição de um percentual máximo de 10% (base seca) de lama de alto-forno à argila conferiu aos produtos cerâmicos queimados a mesma categoria de classificação dos produtos fabricados com argila pura;
- As indústrias do setor de cerâmica devem estabelecer melhorias nas práticas operacionais, buscando a padronização dos parâmetros de controle e procedimentos para execução de uma tarefa, para atender a um mercado cada vez mais exigente e competitivo. O treinamento técnico da equipe constitui um fator primordial para o desenvolvimento dos funcionários, objetivando melhorias no desempenho de suas tarefas;
- A realização de levantamento de dados de todas as etapas, abrangendo desde a matéria-prima, insumos (água, energia elétrica, etc) até os resíduos gerados são importantes para a caracterização do processo industrial. Este levantamento é importante para a definição de indicadores de desempenho que permitirão uma avaliação quantitativa da situação da empresa. Os seguintes indicadores podem ser utilizados como referências: quantidade de resíduos gerados por mês ( kg resíduos / mês); quantidade de resíduos por unidade de produção (kg de resíduos / kg de peças produzidas); consumo de energia por unidade de produção (kwh / kg de peças produzidas); quantidade de resíduos reciclados por mês (kg resíduos / mês); custos relativos ao tratamento e disposição dos resíduos gerados por mês ( R\$ / mês); e

- O transporte terrestre de resíduos deve seguir a norma ABNT NBR 13221 (junho/2005). O manuseio e estocagem da lama de alto-forno em pátios intermediários e nos pátios das indústrias cerâmicas deverão seguir as diretrizes estabelecidas pelas normas ABNT NBR 11174 referentes ao armazenamento de resíduos de classe II e III e ABNT NBR 13896 que aborda os critérios para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos.

## REFERÊNCIAS

- 1 FLEISCHANDERL, A.M; PESL, J. Advanced solutions for waste free iron & steel plants. Voest-Alpine Industrieanlogenbau GmbH, Linz, 32 p., 1997.
- 2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 14001. Sistemas da gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2004. 26 p.
- 3 CADASTRO CERÂMICA VERMELHA. SENAI – DENDEZEIROS – SISTEMA FIEB. Bahia, 36 p., 2002.
- 4 SEARLE, A.B. *Modern brickmaking*. Ed. Ernest Benn Limited. 4ª Edition, London, 734 p., 1956.
- 5 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004 – *Resíduos sólidos – Classificação*. Rio de Janeiro, 2004, 71 p.
- 6 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10005. Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004, 16 p.
- 7 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 10006. Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004, 03 p.
- 8 SINGER, F.; SINGER S. S. *Industrial Ceramics*. Ed. Chapman and Hall Ltd. London and New York, 1455 p., 1987.
- 9 NORTON, F.H. *Introdução à Tecnologia Cerâmica*. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 324 p., 1973.
- 10 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS -ABNT. NBR 6225. Materiais refratários conformados – Determinação da variação linear dimensional. Rio de Janeiro, 2001.03 p.
- 11 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7170. Tijolo maciço para alvenaria - Especificação. Rio de Janeiro, 1983. 06 p.
- 12 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6220. Material refratário denso – Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente, absorção e massa específica aparente da parte sólida. Rio de Janeiro, 1990. 02 p.
- 13 SANTOS, P.S. *Tecnologia de Argilas, Aplicada às Argilas Brasileiras*. Ed. Edgard Blücher Ltda, Ed. Universidade de São Paulo, São Paulo, Vol. 1-2, 802 p., 1989.
- 14 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7171. Bloco cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1992. 08 p.