



INCORPORAÇÃO DE LAMA DE ALTO FORNO EM CERÂMICA VERMELHA – TESTE INDUSTRIAL¹

Carlos Maurício Fontes Vieira²
Claudio André Chagas Martins Dias³
Rubén Sánchez⁴
Sergio Neves Monteiro⁵
Terezinha de Lurdes Loss⁶

Resumo

Este trabalho tem por objetivo avaliar o efeito da utilização de 5% em massa de lama de alto forno nas propriedades físicas e mecânicas de blocos de vedação produzidos em escala industrial. Foram monitoradas as emissões atmosféricas de material particulado, óxido de nitrogênio e dióxido de enxofre além da realização de ensaios ambientais de massa bruta, lixiviação e de solubilização. Os resultados indicaram que a lama de alto não alterou as propriedades físicas e mecânicas avaliadas. Além disso, os ensaios ambientais obtidos mostraram que o resíduo investigado praticamente não altera os parâmetros de lixiviação e de solubilização da cerâmica e ainda traz benefícios como a redução de material particulado devido à diminuição do consumo de combustível.

Palavras-chaves: Cerâmica vermelha; Incorporação; Lama de alto forno; Resíduo; Siderurgia.

INCORPORATION OF BLAST FURNACE SLUDGE INTO RED CERAMIC – INDUSTRIAL TEST

Abstract

This work has as its objective to evaluate the effect of incorporation of 5 wt.% of blast furnace sludge in the physical and mechanical properties of bricks produced in industrial scale. The atmospheric emissions of particulate material, nitrogen oxide and sulfur oxide were monitored beyond environmental tests of gross weight, leaching and solution. The results indicated that the blast furnace sludge did not change the evaluated physical and mechanical properties. Additionally, the environmental tests showed that the investigated waste practically does not change the leaching and solution parameters of the ceramic and also it brings benefit as the reduction of the particulate material due to the decrease of the combustible consumption.

Key words: Red ceramic; Incorporation; Blast furnace sludge; Waste; Steel making industry.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Professor associado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Laboratório de Materiais Avançados - LAMAV. vieira@uenf.br.

³ Doutorando Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Laboratório de Materiais Avançados - LAMAV. claudioandre@hotmail.com.

⁴ Professor titular. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Laboratório de Materiais Avançados - LAMAV. sanchez@uenf.br.

⁵ Professor titular. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Laboratório de Materiais Avançados - LAMAV. sergio.neves@ig.com.br.

⁶ Especialista de Desenvolvimento de Co-Produtos, Área de Co-Produtos, ArcelorMittal Tubarão. terezinha.loss@arcelormittal.com.

1 INTRODUÇÃO

A busca pelas indústrias por alternativas à disposição final de resíduos em aterros vem se tornando cada vez mais intensa. Quando não é possível reaproveitar o resíduo no próprio processo produtivo, o encaminhamento do resíduo como co-produto para um outro processo industrial torna-se interessante quando seu custo é menor que a sua disposição em aterros. Isto não é uma tarefa fácil, pois a viabilidade econômica depende de vários fatores como as características e a quantidade de resíduo, distância das indústrias receptoras, etc. Existem ainda as dificuldades técnicas que precisam ser avaliadas, além é claro, do real benefício para a indústria receptora.

Um dos resíduos que merecem destaque é a lama de alto forno, que é gerado após a etapa de lavagem do gás de Alto-Forno de indústrias siderúrgicas. A quantidade de aço produzida mundialmente torna-se o gerenciamento não só desse, mas de outros resíduos siderúrgicos como uma tarefa extremamente complexa. A reciclagem direta, no próprio processo produtivo de aço, dos pós do alto forno é prejudicada pela presença de elementos indesejáveis tais como o zinco, chumbo e metais alcalinos.⁽¹⁾ Estes elementos com baixos pontos de fusão podem causar problemas operacionais interferindo nas reações que ocorrem no alto forno.

A incorporação de resíduos em cerâmica vermelha, atualmente, apresenta-se como uma das principais soluções tecnológicas para a disposição final de resíduos sólidos industriais e municipais. A variabilidade natural das características das argilas associada a técnicas de processamento relativamente simples e ainda o baixo desempenho exigido para os produtos permitem a presença de níveis de impurezas relativamente elevados. Com isso, pode-se deliberadamente incorporar outros tipos de materiais resultantes das mais diversas fontes de geração.⁽²⁻⁵⁾

Em trabalho reportado na literatura⁽⁶⁾ foi observado que a lama de alto forno é um resíduo constituído predominantemente por óxidos de ferro e de finos de coque. Este resíduo apresenta granulometria apropriada para a incorporação em cerâmica vermelha. O resíduo contribuiu para aumentar a absorção de água, reduzir a tensão de ruptura à flexão e aumentar a retração linear da cerâmica queimada a 900°C em escala laboratorial. Este comportamento é atribuído à composição mineralógica do resíduo com elevado teor de compostos de ferro, sobretudo, hematita e finos de coque. A hematita permanece inerte durante a queima e os finos de coque aumentam a porosidade da cerâmica. A continuidade desta pesquisa se deu em escala industrial, a qual é apresentada neste trabalho.

Neste sentido, os objetivos deste trabalho consistem na avaliação das emissões atmosféricas por meio do monitoramento de material particulado (MP), dióxido de enxofre (SO₂) e óxido de nitrogênio (NO₂) durante a queima de blocos de vedação incorporados com 5% em peso de lama de alto forno, avaliação da fixação de eventuais elementos potencialmente tóxicos e perigosos na cerâmica por meio de ensaios de solubilização e lixiviação e ainda na determinação das propriedades físicas e mecânicas dos blocos de vedação queimados.

2 METODOLOGIA

A etapa experimental foi realizada na cerâmica Unitelha Produtos Cerâmicos, localizada no município de Santa Teresa-ES. Inicialmente foram produzidos blocos de vedação nas medidas de 19x19x9 cm em escala industrial sem lama de alto forno e com 5% de lama de alto forno, fornecido pela ArcelorMittal Tubarão. O processo

produtivo consistiu das seguintes etapas: preparação da massa, conformação, secagem e queima.

O monitoramento das emissões atmosféricas foi realizado em fornos intermitentes do tipo “paulistinha”. As amostragens das emissões de Material Particulado (MP), Dióxido de Enxofre (SO₂) e Dióxido de Nitrogênio (NO₂) foi realizada utilizando um Coletor Isocinético de Poluentes Atmosféricos - CIPA e tubo de Pitot seguindo procedimentos técnicos padronizados.⁽⁷⁻¹⁵⁾

Cada amostragem foi composta de seis coletas, sendo que três coletas foram realizadas abaixo da temperatura de patamar do forno, aproximadamente 850°C, e as outras três coletas na temperatura de patamar do forno. Desta forma, foi possível monitorar as emissões atmosféricas numa ampla faixa de temperatura, inclusive naquela que ocorre a combustão dos finos de coque, entre 600°C e 750°C aproximadamente, conforme indicado nas curvas de ATD/TG/DTG da lama de alto forno.⁽⁶⁾

Para os ensaios de massa bruta, lixiviação e de solubilização, parâmetros inorgânicos, dos blocos de vedação queimados seguiu-se a determinação das normas técnicas.⁽¹⁶⁻¹⁹⁾ Foram utilizadas duas amostras: blocos de vedação sem lama de alto forno e blocos de vedação incorporados com 5% em peso de lama de alto forno.

O ensaio de massa bruta⁽¹⁹⁾ consiste na determinação da concentração de metais em sedimentos e em resíduos sólidos. Os metais ligados à matéria orgânica e presentes em forma de sais, adsorvidos ou na forma de precipitados, foram oxidados através de soluções ácidas. As amostras foram vaporizadas, em seguida diluídas para análise em espectrofotometria de absorção atômica.

As propriedades físicas e mecânicas, absorção de água e resistência à compressão, dos blocos de vedação queimados foram avaliadas pelo Laboratório de Certificação de Cerâmica Vermelha – LABCERV da Fundação Estadual do Norte Fluminense – Fenorte, localizado no município de Campos dos Goytacazes-RJ.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Emissões Atmosféricas

A Tabela 1 apresenta os dados de queima dos blocos de vedação durante o monitoramento das emissões atmosféricas. A chaminé dos fornos 01 e 02 foi utilizada para o monitoramento das emissões atmosféricas da queima dos blocos de vedação com lama de alto forno. Já a chaminé dos fornos 03 e 04 foi utilizada para o monitoramento das emissões dos blocos sem lama de alto forno. Durante a queima dos blocos de vedação com lama de alto forno a temperatura média de patamar, 840°C, foi cerca de 40°C inferior à correspondente temperatura da queima dos blocos de vedação sem lama de alto forno, 880°C. Um outro aspecto importante é que a utilização de lama de lama de alto forno possibilitou uma redução de aproximadamente 18% do consumo de combustível, pois foram gastos cerca de 1,19 m³ de combustível para se obter 1 milheiro de blocos de vedação com lama de alto forno incorporada, chaminé dos fornos 01 e 02. Por outro lado, foram gastos cerca de 1,46 m³ de combustível para produzir 1 milheiro de blocos de vedação sem lama de alto forno, chaminé dos fornos 03 e 04.

Tabela 1. Dados de etapa de queima para monitoramento de chaminé

Variável	Unidade	Chaminé do forno 01 e 02	Chaminé do forno 03 e 04
Data de monitoramento		1 e 2 out. 2008	9 e 10 out. 2008
Produção de blocos	Un	42.000	35.000
Eucalipto picado	m ³	16	21
Pó cerrado com munha de eucapilto	m ³	34	30

As Figuras 1 e 2 apresentam a concentração de material particulado durante a queima de blocos de vedação sem lama de alto forno e com lama de alto forno, respectivamente. É possível observar que o parâmetro material particulado apresenta-se acima do valor máximo permitido de acordo com a resolução do Conama n. 316.⁽²⁰⁾

As emissões atmosféricas de NO₂ e SO₂ (Figuras 3 a 6), apresentam-se dentro dos limites máximos permitidos por norma. Observa-se que a incorporação de lama de alto forno aumentou ligeiramente a concentração média de SO₂ e reduziu significativamente os valores médios de NO₂ e material particulado.

O problema da excessiva concentração de material particulado é devido ao tipo de combustível utilizado, pó de serragem com munha de eucapilto. A redução da emissão de material particulado com a utilização de lama de alto forno ocorreu devido à menor quantidade de combustível utilizada. Isto comprova a economia energética propiciada pelo uso de lama de alto forno na composição da massa de cerâmica vermelha.

Já a adequação do parâmetro de material particulado dentro do valor máximo permitido por norma pela cerâmica colaboradora do estudo pode ser obtida com o emprego de filtros na chaminé do forno ou pela substituição total ou parcial do tipo de combustível utilizado ou ainda pela melhoria do sistema de alimentação de combustível.

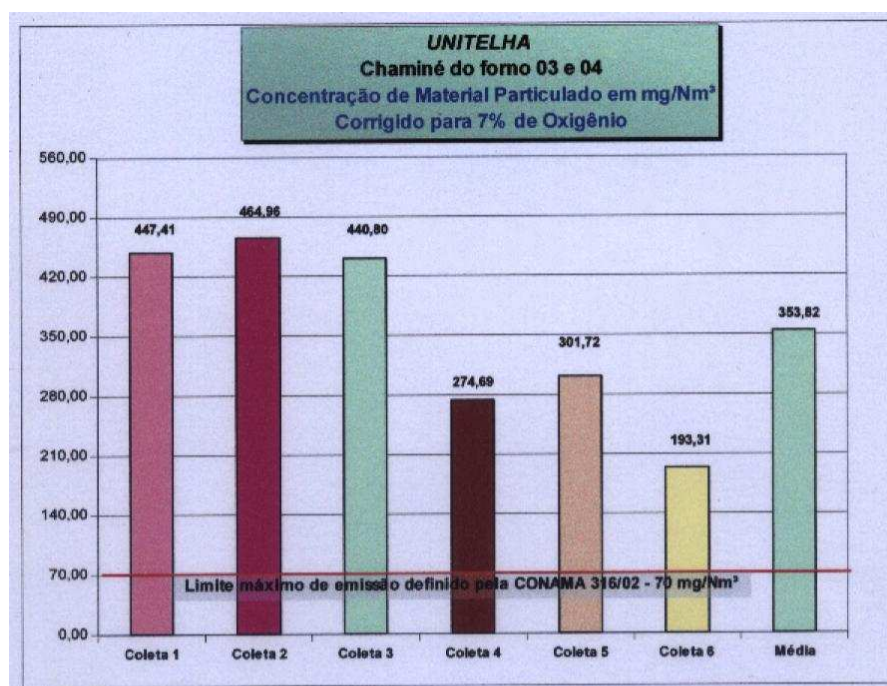


Figura 1. Concentração de material particulado proveniente da queima dos blocos de vedação sem lama de alto forno.

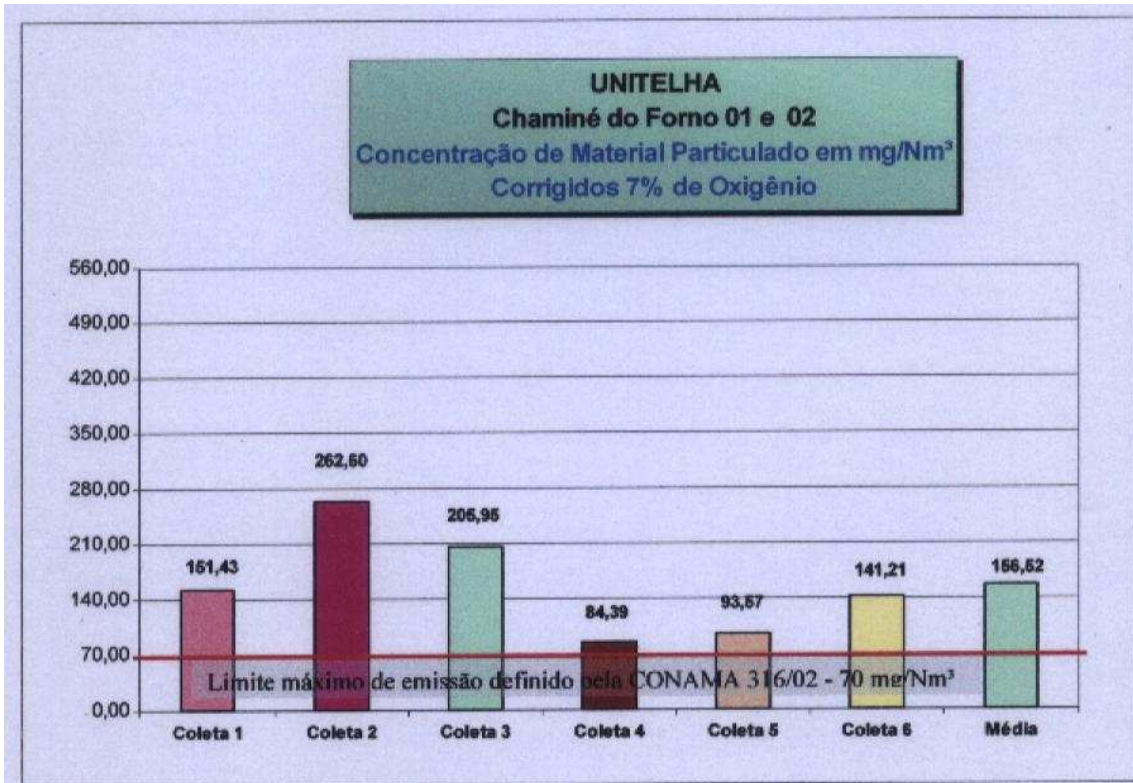


Figura 2. Concentração de material particulado proveniente da queima dos blocos de vedação com lama de alto forno.

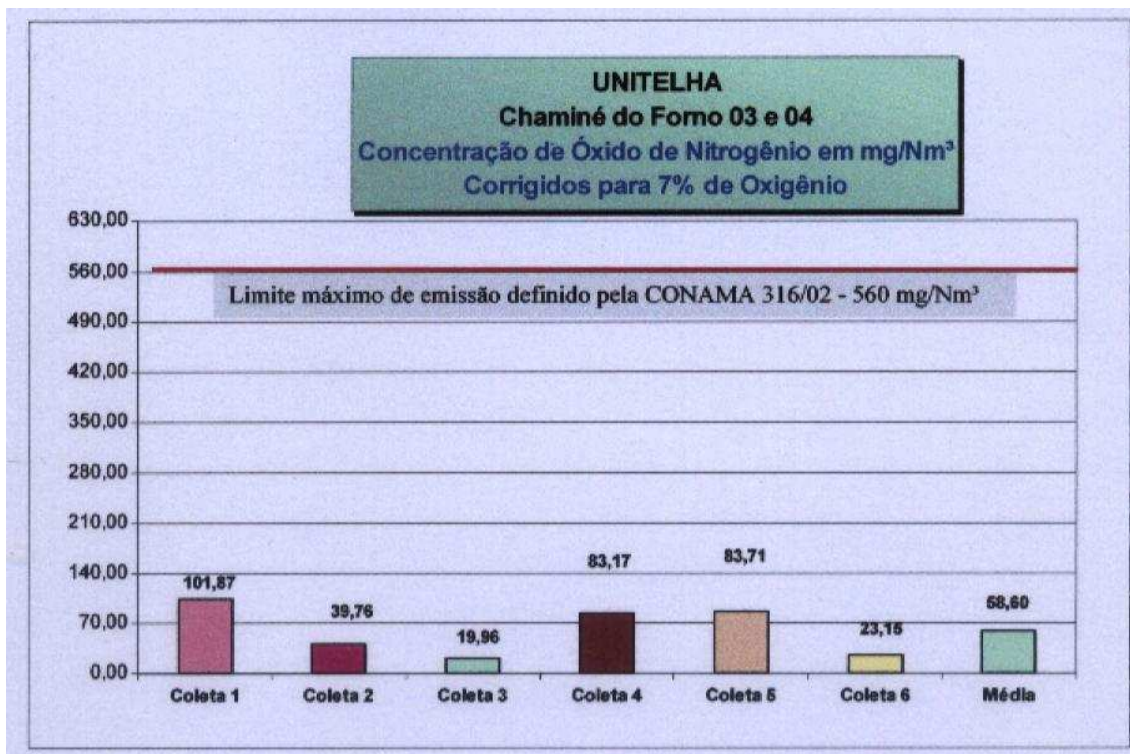


Figura 3. Concentração de dióxido de nitrogênio proveniente da queima dos blocos de vedação sem lama de alto forno.

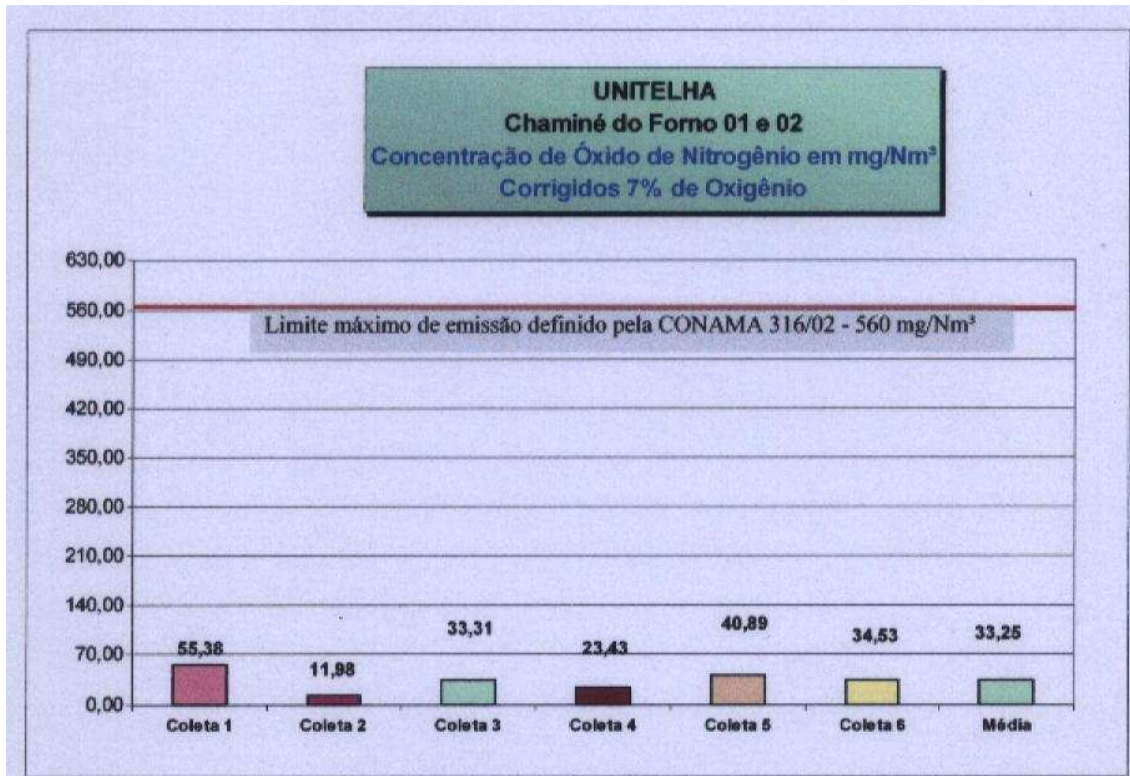


Figura 4. Concentração de dióxido de nitrogênio proveniente da queima dos blocos de vedação com lama de alto forno.

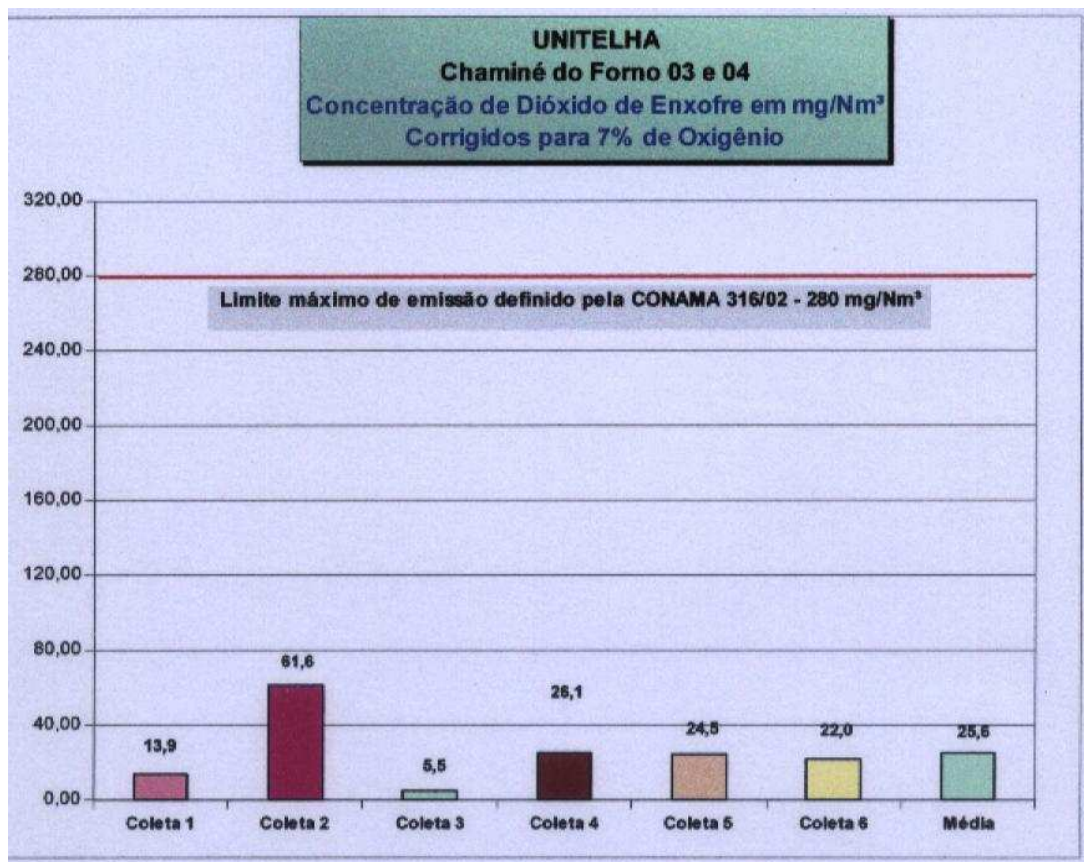


Figura 5. Concentração de dióxido de enxofre proveniente da queima dos blocos de vedação sem lama de alto forno.

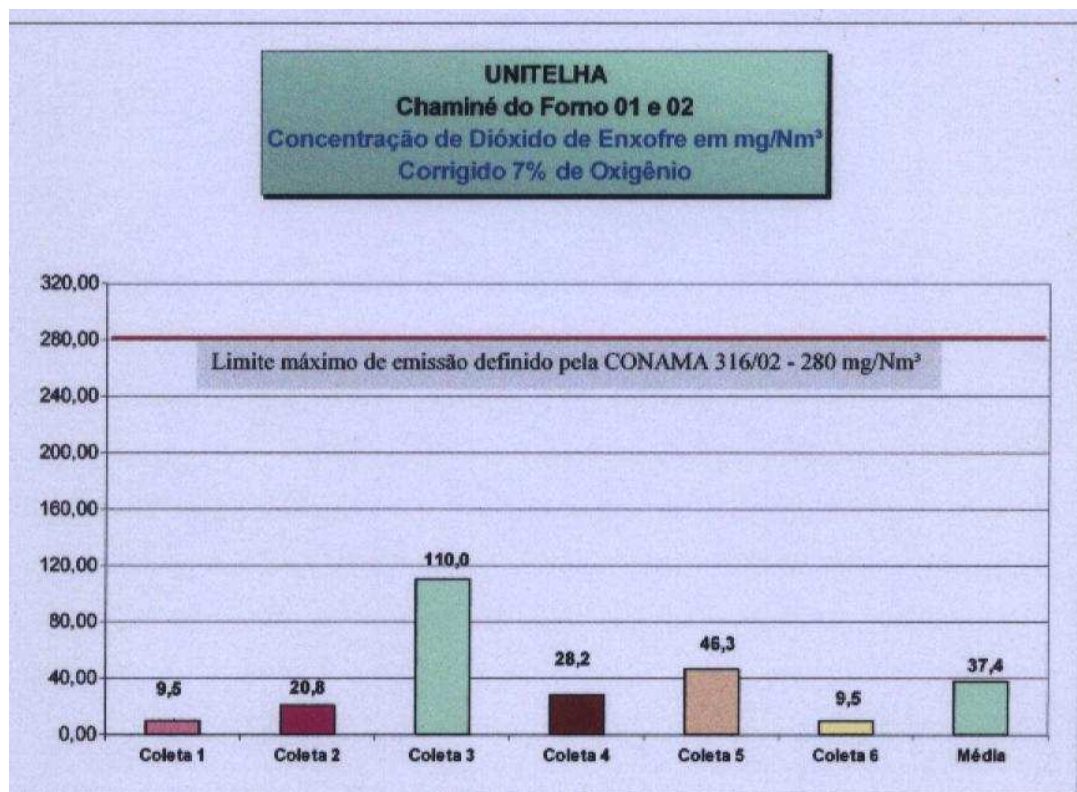


Figura 6. Concentração de dióxido de enxofre proveniente da queima dos blocos de vedação com lama de alto forno.

3.2 Solubilização e Lixiviação das Cerâmicas Queimadas

As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam os resultados dos testes de massa bruta, lixiviação e solubilização, respectivamente. Nestas Tabelas estão indicados os valores obtidos e limite aceitável dos parâmetros inorgânicos correspondente aos blocos de vedação sem lama de alto forno e com com 5% de lama de alto forno incorporada.

É possível observar que tanto no teste de massa bruta (Tabela 2), quanto no teste de lixiviação, Tabela 3, todos os parâmetros apresentam-se em concentrações dentro do limite máximo aceitável para as duas amostras, blocos de vedação sem lama de alto forno e bocos de vedação com lama de alto forno.

Os resultados do extrato de solubilização (Tabela 4), mostram que a cerâmica argilosa tanto sem lama de alto forno quanto com lama de alto forno apresenta alguns parâmetros acima do valor máximo permitido por norma como o alumínio, o arsênio, o fluoreto, o manganês e o selênio. Estes parâmetros são praticamente idênticos para as duas amostras avaliadas. A exceção é o fluoreto, que não ultrapassou o valor máximo permitido por norma para a cerâmica com lama de alto forno.

Desta forma, os resultados mostram que a lama de alto forno não altera uma eventual classificação da cerâmica, de acordo com a norma NBR 10004 da ABNT,⁽¹⁶⁾ quando esta se tornar um resíduo da construção civil. Isto significa que quando a cerâmica se tornar um entulho da construção civil seria classificada como um resíduo não inerte não-perigoso, independente de possuir lama de alto forno em sua constituição.

Tabela 2. Resultados da análise de massa bruta

Parâmetros	Resultado (mg/L)		VMP*
	Cerâmica sem lama de alto forno	Cerâmica com lama de alto forno	
Cianeto Total	<0,5	<0,5	250 mg/Kg CN
pH 1:1	6,6	5,9	Entre 2,0 e 12,5
Sulfeto	<0,2	<0,2	500 mg/Kg de S ₂
Líquidos livres	0	0	Sem referência mL/100g

*VMP = valor máximo permitido

Tabela 3. Resultados do ensaio de lixiviação

Parâmetros	Resultado (mg/L)		VMP* (mg/L)
	Cerâmica sem lama de alto forno	Cerâmica com lama de alto forno	
Arsênio	0,151	0,144	1,0
Bário	0,37	0,65	70,0
Cádmio	<0,02	<0,02	500
Chumbo	<0,12	<0,12	1,0
Cromo Total	<0,01	<0,01	5,0
Fluoreto	1,72	0,47	150,0
Mercúrio	<0,0002	<0,0002	0,1
Prata	0,008	0,007	5,0
Selênio	0,075	0,064	1,0

*VMP = valor máximo permitido

Tabela 4. Resultados do ensaio de solubilização

Parâmetros	Resultado (mg/L)		VMP* (mg/L)
	Cerâmica sem lama de alto forno	Cerâmica com lama de alto forno	
Alumínio	2,300	0,750	0,2
Arsênio	0,035	0,013	0,01
Bário	<0,3	<0,3	0,7
Cádmio	0,0011	0,0012	0,005
Chumbo	0,003	<0,003	0,01
Cianeto Total	<0,005	<0,005	0,07
Cloreto	3,40	5,25	250,0
Cobre	<0,04	<0,04	2,0
Cromo Total	0,01	0,03	0,05
Fenóis	<0,01	<0,01	0,01
Ferro	<0,09	<0,09	0,3
Fluoreto	2,13	0,71	1,5
Manganês	1,84	2,13	0,1
Mercúrio	<0,0002	<0,0002	0,001
Nitrogênio Nitrato	0,41	0,37	10,0
Prata	<0,005	<0,005	0,05
Selênio	0,021	0,021	0,01
Sódio	22,3	3,1	200,0
Sulfato	209,20	107,27	250,0
Surfactantes	0,24	0,09	0,5
Zinco	0,18	0,25	5,0

*VMP = valor máximo permitido

3.3 Propriedades Físicas e Mecânicas das Cerâmicas Queimadas

A Tabela 5 apresenta os valores de absorção de água e de resistência à compressão dos blocos de vedação sem lama de alto forno e com 5% de lama de alto forno incorporada.

Com relação à absorção de água, o valor máximo permitido por norma para este parâmetro é de 22%.⁽²¹⁾ É possível observar que tanto os blocos de vedação sem lama de alto forno quanto os blocos de vedação com lama de alto forno apresentam valores de absorção de água dentro do limite máximo permitido por norma. Nota-se ainda que os blocos de vedação sem lama de alto forno apresentam um valor médio ligeiramente superior em comparação com os blocos de vedação com lama de alto forno. Entretanto, de acordo com o desvio-padrão, pode-se considerar que a absorção de água dos blocos de vedação não variou em função da incorporação da lama de alto forno.

Já a resistência à compressão dos blocos de vedação deve apresentar um valor mínimo de 1,5 Mpa.⁽²¹⁾ É possível observar que tanto os blocos de vedação sem lama de alto forno quanto os blocos de vedação com lama de alto forno apresentam valores de resistência à compressão acima do valor mínimo exigido. Embora os blocos de vedação sem lama de alto forno apresentem um valor médio ligeiramente superior em comparação com os blocos de vedação com lama de alto forno, estatisticamente, pode-se considerar que a resistência à compressão dos blocos de vedação também não variou em função da incorporação da lama de alto forno.

Tabela 5. Absorção de água e resistência à compressão dos blocos cerâmicos sem lama e com lama de alto forno

Propriedades	Blocos de vedação sem lama de alto forno	Blocos de vedação com 5% lama de alto forno
Absorção de água (%)	21,9 ± 0,5	21,4 ± 0,3
Resistência à compressão (MPa)	3,7 ± 1,6	3,4 ± 0,6

4 CONCLUSÕES

- O monitoramento das emissões atmosféricas mostrou que os parâmetros NO₂ e SO₂ apresentam-se dentro dos limites máximos permitidos por norma. Já o parâmetro material particulado apresenta-se acima do valor máximo permitido. Estes resultados são válidos para as duas condições realizadas, ou seja, sem lama de alto forno e com lama de alto forno incorporada nos blocos de vedação.
- A incorporação de lama de alto forno aumentou ligeiramente a concentração média de SO₂ e reduziu significativamente os valores médios de NO₂ e de material particulado.
- O problema da excessiva concentração de material particulado é devido ao tipo de combustível utilizado, pó de serragem com munha de eucapilto. A redução da emissão de material particulado com a utilização de lama de alto forno ocorreu devida à menor quantidade de combustível utilizada. Isto comprova a economia energética propiciada pelo uso de lama de alto forno na composição da massa de cerâmica vermelha.
- A adequação do parâmetro de material particulado dentro do valor máximo permitido por norma pela cerâmica colaboradora do estudo pode ser obtida com o emprego de filtros na chaminé do forno ou pela substituição total ou parcial do tipo



de combustível utilizado ou ainda pela melhoria do sistema de alimentação de combustível. Conforme já foi apresentado, a lama de alto forno contribuiu até para a redução da concentração de material particulado.

- Os ensaios ambientais de massa bruta, lixiviação e solubilização mostraram que a lama de alto forno não altera uma eventual classificação da cerâmica de acordo com a norma NBR 10004 da ABNT quando esta se tornar um resíduo da construção civil, ou seja, o entulho de demolição da cerâmica argilosa continuaria sendo classificado com não inerte não-perigoso, independente de possuir lama de alto forno em sua constituição.
- A lama de alto forno incorporada na massa argilosa até a quantidade de 5% em peso praticamente não alterou as propriedades físicas e mecânicas, absorção de água e resistência à compressão, dos blocos cerâmicos.
- O teste industrial comprovou que a principal vantagem da utilização de lama de alto forno na composição de massa de cerâmica vermelha é a redução de combustível durante a etapa de queima, que alcançou 18%. Além disso, esta prática pode ser considerada como uma alternativa ambientalmente correta para a disposição final da lama de alto forno possibilitando um reaproveitamento e valorização de um material que eventualmente seria destinado à aterro sanitário industrial.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPERJ, processo n. E-26/103.023/2008, e ao CNPq, processo n. 306027/2008-9.

REFERÊNCIAS

- 1 B. DAS. S. PRAKASH, P.S.R. REDDY, V.N. MISRA. An overview of utilization of slag and sludge from steel industries. Resources, Conservation and Recycling. v. 50, n. 1, p. 40-57, 2007.
- 2 A. M. SEGADÃES, C. KNISS, W. ACCHAR, N. C. KUHNEN, D. HOTZA, Proceedings 2004 Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology, Madrid, Spain (2004), 503.
- 3 A. ANDRÉS, M. CARMEN DÍAS, A. COZ, J. R. VIGURI, A. IRABIEN, Proceedings 2004 Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology, Madrid, Spain (2004), 171.
- 4 M. DONDI; M. MARCIGLI; B. FABRI. Recycling of industrial and urban wastes in brick production – A Review. Tile & Brick International. v. 13, n. 3, p. 218-225, 1997.
- 5 M. DONDI; M. MARCIGLI; B. FABRI. Recycling of industrial and urban wastes in brick production – A Review (Part 2). Tile & Brick International, v. 13, n. 4, p. 302-308, 1997.
- 6 C. M. F. VIEIRA, C. A. C. M. DIAS, A. V. MOTHE; R. SÁNCHEZ; S. N. MONTEIRO. Incorporação de lama de alto forno em cerâmica vermelha. Cerâmica. v. 53, p. 381 - 387, 2007.
- 7 ABNT/NBR 10.700 – Planejamento de Amostragem em dutos e chaminés de fontes estacionárias.
- 8 ABNT/NBR 10.701 – Determinação de pontos de amostragem em dutos e chaminés de fontes estacionárias.
- 9 ABNT/NBR 10.702 – Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação da massa molecular – base seca.
- 10 ABNT/NBR 11.966 – Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação da velocidade e vazão.

- 11 ABNT/NBR 11.967 – Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação da umidade.
- 12 ABNT/NBR 12.019 – Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação da emissão de Material Particulado.
- 13 ABNT/NBR 12.020 – Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias – Calibração dos equipamentos utilizados em amostragem.
- 14 ABNT/NBR 12.021 – Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação de dióxido de enxofre, trióxido de enxofre.
- 15 CETESB L9. 229 – Dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação de óxido de nitrogênio: método de ensaio.
- 16 ABNT/NBR 10004 - Classificação dos resíduos sólidos.
- 17 ABNT/NBR 10005 - Lixiviação de Resíduos Sólidos-Procedimentos.
- 18 ABNT/NBR 10006 - Solubilização de Resíduos Sólidos-Procedimentos.
- 19 Environmental Protection Agency. Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods. SW-846. Washington, DC : US EPA, 2008
- 20 CONAMA – Resolução n. 316 - Procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos.
- 21 ABNT/NBR 15270-1 – Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos.