



AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO PÓ DE ACIARIA ELÉTRICA EM CERÂMICA VERMELHA¹

Lucas da Silva Lovise²
Carlos Maurício Fontes Vieira³
Sergio Neves Monteiro⁴
Nancy Quaranta⁵
N. Lalla⁶

Resumo

Este trabalho tem por objetivo investigar a incorporação de pó de aciaria elétrica de em cerâmica argilosa utilizada para a construção civil. Composições foram preparadas com a incorporação de até 20% em peso do resíduo em dois tipos de argilas, uma da Argentina e outra do Brasil. A plasticidade das composições foi avaliada pelo método de Atterberg. Corpos de prova cilíndricos foram preparados por prensagem uniaxial e queimados em um forno de laboratório a 850°C. As propriedades tecnológicas determinadas foram: retração linear, absorção de água e compressão diametral. Os resultados mostraram que é tecnicamente viável a reciclagem do resíduo investigado em cerâmica vermelha.

Palavras-chaves: Pó de aciaria elétrica; Cerâmica argilosa; Reciclagem; Resíduo siderúrgico.

EVALUATION OF THE INCORPORATION OF ELETRIC ARC DUST WASTE INTO RED CERAMIC

Abstract

This work has for objective to investigate the incorporation of electric arc furnace dust into clayey ceramic used for civil construction. Compositions were prepared with incorporation of up to 20 wt% of the waste into two types of clays, one from Argentina and other from Brazil. The plasticity of the compositions was evaluated by the Atterberg method. Cylindrical specimens were prepared by uniaxial press-molding and then fired in a laboratory furnace at 850°C. The technological properties evaluated were: linear shrinkage, water absorption and diametral compression. The results showed that is technically feasible to recycle the evaluated waste into red ceramic.

Key words: Electric arc furnace dust; Clay; Recycling; Steel plant waste.

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

² Aluno de IC. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Laboratório de Materiais Avançados - LAMAV. lucas.lovise@hotmail.com

³ Professor associado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Laboratório de Materiais Avançados - LAMAV. vieira@uenf.br.

⁴ Professor titular. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Laboratório de Materiais Avançados - LAMAV. sergio.neves@ig.com.br.

⁵ National Technological University – San Nicolás Regional Faculty - Environmental Studies Group. nquaranta@frsn.utn.edu.ar.

⁶ National Technological University – San Nicolás Regional Faculty - Environmental Studies Group. N.lalla@frsn.utn.edu.ar.

1 INTRODUÇÃO

O setor industrial siderúrgico gera uma variedade de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões gasosas nas suas diversas etapas de processamento, dentre eles o pó de aciaria elétrica, gerado em forno elétrico a arco.⁽¹⁾ Os maiores poluidores associados às emissões atmosféricas são os pós, óxido de carbono, óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis. O pó de aciaria elétrica é um dos vários tipos de resíduos sólidos do processo de produção de aço. As fases mais comuns presentes neste tipo de resíduos são: Fe_2O_3 , FeO , Fe-metálico., 2FeO-SiO_2 , ZnO , SiO_2 (quartzo), 3CaO-2SiO_2 e 4PbO-PbSO_4 .⁽²⁾ Vários trabalhos têm sido dedicados a caracterizar e avaliar as possíveis aplicações para este tipo de resíduo.⁽²⁻¹¹⁾

Silvia⁽³⁾ estudou o pó de aciaria elétrica de uma usina siderúrgica em cerâmica vermelha. O resíduo é predominantemente constituído de Fe, Zn e Na. A incorporação do resíduo promoveu uma maior densificação levando a uma redução da absorção de água e da porosidade, e de um aumento da retração linear e da resistência mecânica dos corpos cerâmicos em função da temperatura. Os resultados indicaram que o resíduo apresenta-se apropriado para incorporação em cerâmica vermelha.

A incorporação em cerâmica vermelha é hoje uma solução ambientalmente correta para a eliminação de uma ampla gama de resíduos sólidos.^(12,13) A variabilidade natural das características da argila, o uso de técnicas de processamento relativamente simples, bem como o relativo baixo desempenho técnico exigido para os produtos, facilitando a presença de uma quantidade significativa de impurezas introduzidas na estrutura final da cerâmica. Além disso, a fase de queima, que atinge a temperatura na faixa entre 600°C - 1.000°C , é fundamental para a consolidação das partículas. Ele permite a volatilização de compostos perigosos, bem como alterações das características químicas dos materiais e inertização de potencial tóxico e perigosos compostos por meio da fixação na fase vítrea. Além disso, alguns tipos de resíduos podem contribuir também para facilitar a fabricação de cerâmica vermelha, não só por mudar a plasticidade / trabalhabilidade da massa cerâmica, mas também pelo aumento da performance técnica da cerâmica, bem como aumentar a resistência mecânica e diminuição da absorção de água.

A avaliação do efeito da utilização do pó da aciaria elétrica na plasticidade/trabalhabilidade, bem como nas propriedades físicas e mecânicas de dois diferentes tipos de argilas foi o objetivo deste trabalho.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As matérias-primas utilizadas neste trabalho foram: um tipo de resíduo e dois tipos de argilas. O resíduo foi um pó aciaria elétrica, denominado PAE, gerado em usina siderúrgica argentina que utiliza forno elétrico a arco. As argilas foram denominadas de AAr, argila argentina, e ABr, argila do Brasil.

As matérias-primas foram inicialmente caracterizadas por fluorescência de raios-X em equipamento Philips, modelo PW 2400.

Foram elaboradas cinco composições, correspondentes à incorporação de resíduo nas argilas, nos seguintes percentuais: 0%; 5%; 10%; 15% e 20% em peso. Estas composições foram homogeneizadas a seco em galga misturadora de pista lisa por 30 minutos. A plasticidade das composições foi avaliada pelo método de Atterberg.^(14,15)

Corpos-de-prova cilíndricos foram conformados por prensagem uniaxial a 18 MPa nas dimensões 20,3 mm de diâmetro e 8,5 mm de espessura. Os corpos-de-prova foram inicialmente secos em estufa à 110°C até peso constante para queima em forno de laboratório na temperatura de 850°C. Foi utilizada uma taxa de aquecimento de 3°C/min e isoterma de 12 minutos na temperatura máxima. O resfriamento ocorreu por convecção natural, desligando-se o forno

As propriedades físicas e mecânicas determinadas foram: retração linear, absorção de água e resistência à compressão diametral. Sete amostras foram testadas para cada composição, o que permitiu uma análise estatística dada pela média e desvio padrão (barra de erro) para o valor de cada propriedade avaliada

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra a composição química das argilas. Nota-se que elas apresentam diferenças significativas. A argila AAr tem maior quantidade de SiO₂ e menor quantidade de Al₂O₃ em comparação com a argila ABr. Isto está relacionado com a composição mineralógica diferenciada. Enquanto que a argila brasileira tem predominância do argilomineral caulinita, a da argentina é do tipo ilítica. Observa-se também uma maior quantidade K₂O na argila AAr, típico de argila com a presença do argilomineral illita.

Tabela 1. Composição química das argilas (% em peso)

Óxidos	AAr	ABr
SiO ₂	63,28	42,85
Al ₂ O ₃	18,72	30,84
Fe ₂ O ₃	8,29	7,96
TiO ₂	0,82	1,33
CaO	1,06	-
MgO	3,01	-
K ₂ O	4,82	1,19
PF	-	15,63

Segundo a literatura,⁽²⁾ a composição química do resíduo PAE depende de vários fatores, tais como, a qualidade da sucata de aço processado, o tipo de aço a ser produzido, os requisitos tecnológicos, condições de funcionamento e do grau de retorno do pó para o processo. Os dados de referência⁽³⁾ indicam que os elementos predominantes no PAE apresentam as seguintes concentrações: Fe 10-45%, 2-46% de Zn, Pb% 0,40-15,14, Cr 0,2-11%, Cd 0,01-0,30%, Mn 1-5%, Cu <3%, L-5% Si, Ca 1-25%, 1-12% Mg, Al% 0,1-1,5, C 0,11-2,36%, S% 1,5-2,5, Na 0,5-1,8%, K% 0,35-2,30. Observa-se na Tabela 2 que o resíduo é predominantemente constituído de Fe, Na e Zn. Com a única exceção do Na, a outras determinações estão em conformidade com os valores mencionados. A elevada quantidade de sódio (Na) na composição química do PAE pode ser uma consequência de sal ou contaminação de vidro de soda cal.

Tabela 2. Composição química do resíduo PAE

Elemento	Si	Fe	Ca	Mg	K	Na	Zn	Mn	S	Cl	C	O
(peso) %	1,47	25,53	2,36	2,16	1,83	11,57	7,31	1,78	1,10	0,68	11,73	32,48



A Figura 1 apresenta um prognóstico de extrusão usando a plasticidade das composições.⁽¹⁶⁾ Este prognóstico está relacionado principalmente à viabilidade e produtividade das peças verdes. Pode-se observar que ambas as argilas estão localizadas fora do limite da região aceitável. No entanto, enquanto a argila argentina, AAr, tem baixa plasticidade, a argila brasileira, ABr, exibe a plasticidade excessiva. Este resultado está associado à constituição mineralógica diferente das argilas.

Esta figura também revela que a incorporação de 20% do PAE diminui a plasticidade das duas argilas. Entretanto a incorporação do PAE é benéfica para a argila ABr deslocando-a para a posição da região de extrusão aceitável.

Em contrapartida, a influência do PAE na plasticidade do AAr é praticamente insignificante. Na prática, a incorporação de até 20% em peso de PAE não alterou significativamente a plasticidade/trabalhabilidade da argila argentina.

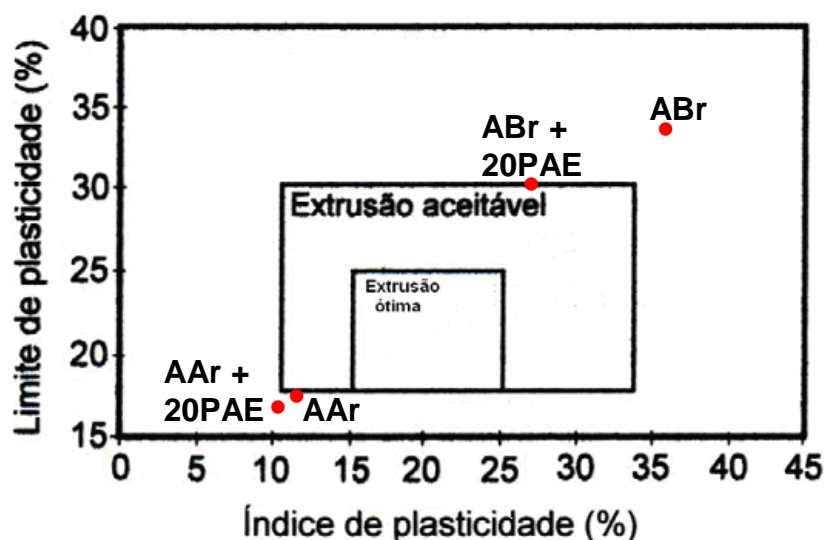


Figura 1. Prognóstico de extrusão pelo Método de Atterberg.

As Figuras 2, 3 e 4 apresentam as propriedades de absorção de água, retração linear e compressão diametral, respectivamente, das argilas AAr e BAr incorporadas com o resíduo PAE queimadas a 850°C.

É possível observar na Figura 2 que a argila argentina, AAr, apresenta um menor valor de absorção de água em comparação com a argila brasileira, ABr. Isto está associado com a composição química e mineralógica ilílica da argila argentina que, devido à maior quantidade de fundentes e maior teor de quartzo, possibilita um menor nível de porosidade após queima. Já a incorporação do resíduo PAE, tende a diminuir a absorção de água da argila AAr e praticamente não altera a absorção de água da argila ABr. Como fonte de óxidos alcalinos, sobretudo, de Na, o resíduo pode ter formado eutéticos com a SiO_2 e Al_2O_3 da argila AAr. Já a argila ABr, devido à predominância caulínica com elevado teor de Al_2O_3 .^(17,18) a formação de eutéticos de baixa temperatura foi dificultada. Um outro aspecto importante que pode ter influenciado neste resultado foi o grau de empacotamento a seco das argilas com o resíduo. A granulometria mais grosseira do resíduo em relação às argilas também pode ter contribuído para aumentar a densidade a seco das argilas de forma diferenciada. Maiores valores de densidade a seco, facilitam os mecanismos de sinterização e com isso, contribuem para a redução da absorção de água.

A Figura 3 apresenta a retração linear das composições. É possível observar que a argila AAr, apresenta uma menor retração em comparação com a argila ABr. Isto é

devido à menor perda de massa durante a queima. A densidade a seco também pode ter influenciado nestes valores. Nota-se que o resíduo PAE não alterou a retração linear de ambas as argilas.

Finalmente, de acordo com a Figura 4, as composições com a argila BA apresentam maiores valores de resistência mecânica do que com as composições com a argila AA. Em princípio, seria de se esperar o contrário devido aos menores valores de absorção de água das composições com a argila AA, ou seja, indicando uma menor porosidade aberta. Este resultado aparentemente contraditório pode ser atribuído à maior quantidade de SiO₂ livre presente na argila AA. É bem conhecido que as partículas de quartzo grosseiro diminuem a resistência mecânica da cerâmica devido a sua transformação alotrópica em cerca de 573°C, gerando trincas.⁽¹⁹⁾ Observa-se ainda na Figura 4 que o resíduo PAE praticamente não alterou a resistência mecânica da argila BA. Já na argila AA, o resíduo aumentou significativamente sua resistência mecânica. Com 10% de resíduo, o valor de compressão diametral da argila AA aumentou aproximadamente 104%. Já com 20% este percentual foi de 211%. Isto também pode ser consequência da maior formação de fase líquida propiciada pelo resíduo.

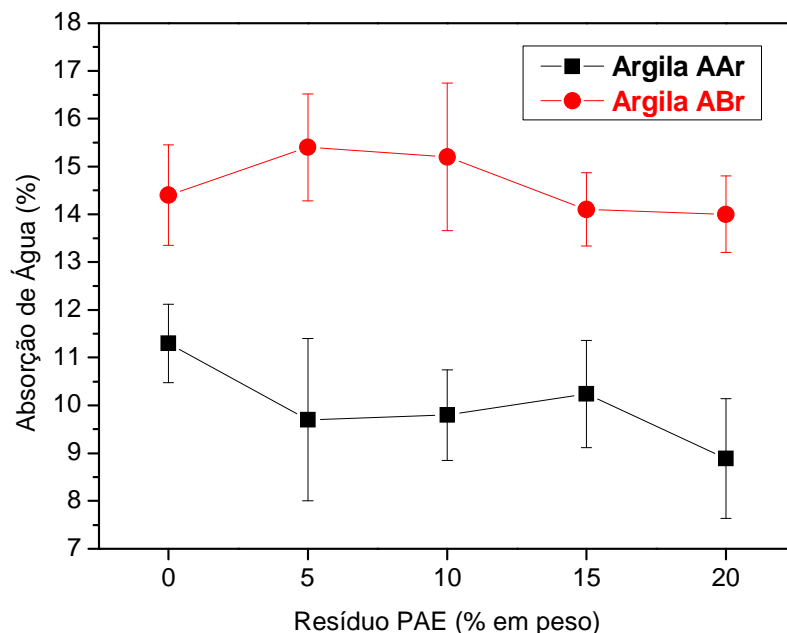


Figura 2. Absorção de água das composições queimadas a 850°C.

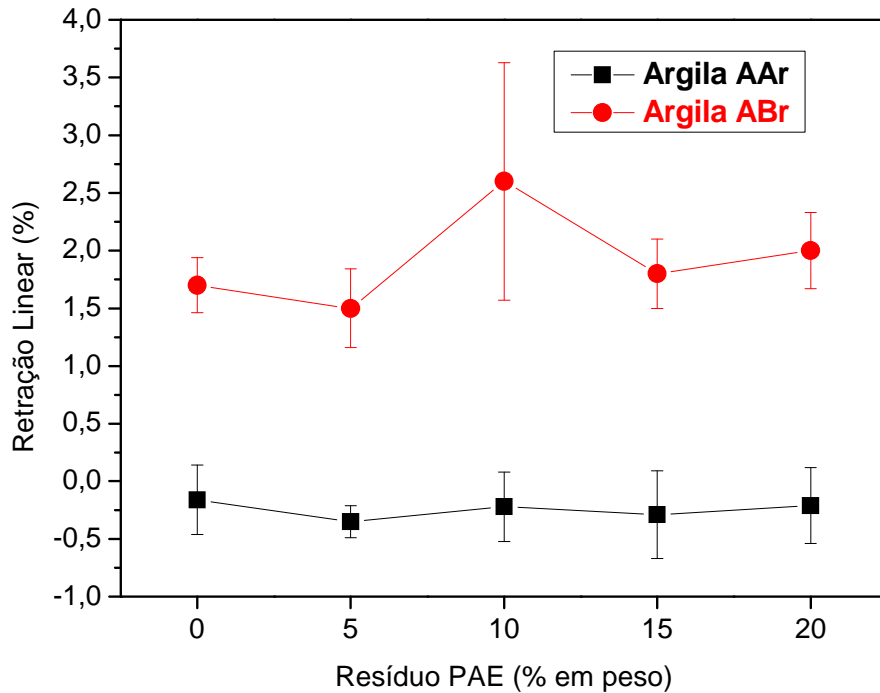


Figura 3. Retração linear das composições queimadas a 850°C.

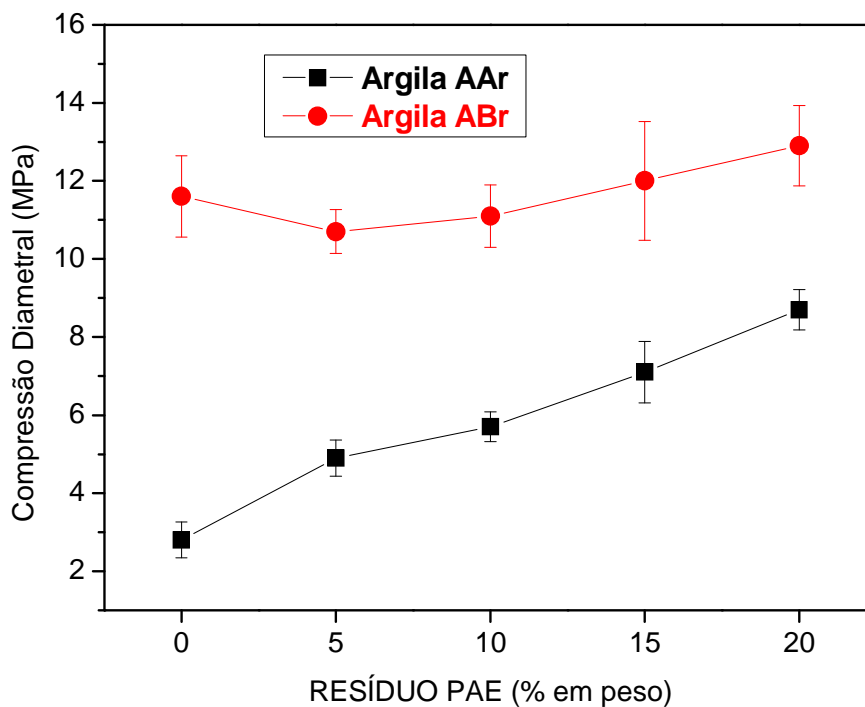


Figura 4. Compressão diametral das composições queimadas a 850°C.

4 CONCLUSÕES

Neste trabalho de avaliação da incorporação de pó da aciaria elétrica de uma usina siderúrgica integrada na plasticidade/trabalhabilidade e nas propriedades físicas e mecânicas de duas argilas utilizadas para construção civil, levou as seguintes conclusões:



- O pó de aciaria elétrica é predominantemente composto por compostos de Fe, Na e Zn que agem como um material não-plástico durante a etapa de conformação, reduzindo a plasticidade da argila. No caso de argilas de alta plasticidade, como a argila brasileira investigada neste trabalho, o uso deste resíduo ou de qualquer outro material não plástico é vantajoso, pois ajusta a plasticidade para um valor aceitável.
- O resíduo interfere nas propriedades de absorção de água e de resistência mecânica da cerâmica em função, sobretudo, de quantidades significativas de sódio. Entretanto, a composição química e mineralógica da argila tem forte influência na interação com os constituintes do resíduo. Observou-se que com a argila ílítica argentina, que apresenta maior teor de sílica livre e menor teor de alumina em comparação com a argila caulínica brasileira, o resíduo possibilitou uma redução da porosidade e aumento significativo da resistência mecânica.
- Os resultados indicaram que o segmento de cerâmica vermelha apresenta-se com potencial para utilizar o pó de aciaria elétrica na composição da massa em mistura com argilas mesmo em quantidades significativas. Entretanto, questões ambientais com respeito às emissões atmosféricas e lixiviação e solubilização de elementos tóxicos e perigosos presentes no resíduo devem ser avaliadas.

Agradecimentos

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

REFERENCIAS

- 1 H.T. Makkonen, J. Heino, L. Laitila, A. Hiltunen, E. Pöyliö and J. Häkki, "Optimization of steel plant recycling in Finland: dust, scales and sludge", J. Resources, Conservation and Recycling, Vol. 35 (2002), p. 77-84.
- 2 T. Sofilié, A. Rastovcan-Mioe, S. Cerjan-Stefanovic, V. Novosel-Radovic and M. Jenko, "characterization of steel mill electric-arc furnace dust", Journal of Hazardous Materials B, Vol. 109 (2004), p. 59-70.
- 3 Silvia, Miriam Cooper da. "Reciclagem de pó de aciaria elétrica como matéria-prima na fabricação de materiais cerâmicos argilosos : controle das emissões atmosféricas de zinco" - Tese de doutorado, UFRGS, 2006. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/7155> Acesso em: 10 fev. 2010.
- 4 T. Sofilié, A. Rastovcan-Mioe, S. Cerjan-Stefanovic, V. Novosel-Radovic and M. Jenko, "characterization of steel mill electric-arc furnace dust", Journal of Hazardous Materials B, Vol. 109 (2004), p. 59-70.
- 5 S.A. Mikhail, A.M. Turcotte and J. Aota, "Thermoanalytical study of EAF and its vitrification product", Thermochim. Acta, Vol. 287 (1996), p. 71-79.
- 6 R. Melloni, F.A.M. Silva, F.M.S. Moreira and A.E.F. Neto, "Pó de forno de aciaria elétrica na microbiota do solo e no crescimento de soja", Pesqui. Agropecu. Bras., Vol. 36 (2001), p. 1547-1554.
- 7 J.G.M.S. Machado, F.A. Brehm, C.A.M. Moraes, C.A. dos Santos, A.C.F. Vilela and J.B.M. da Cunha, "Chemical, physical, structural and morphological characterization of electric arc furnace dust, Journal of Hazardous Materials B, Vol. 136 (2006), p. 953-960.
- 8 T. Havlik, B.V. Souza, A.M. Bernardes, I.A.H. Schneider and A. Miskufova, "Hydrometallurgical processing of carbon steel EAF dust", J. Hazard. Mater.B, Vol. 135 (2006), p.311-318.
- 9 O. Ruiz, C. Clemente, M. Alonso and F.J. Alguacil, "Recycling of an electric arc furnace flue dust to obtain high grade ZnO", J. Hazard. Mater. Vol. 141 (2007), p. 33-36.



- 10 P. Kavouras, T. Kehagias, I. Tsilika, G. Kaimakamis, K. Chrissafis, S. Kokkou, D. Papadopoulos and Th. Karakostas, "Glass-ceramic materials from electric arc furnace dust", *J. Hazard. Mater. A*, Vol. 139 (2007), p. 424-429.
- 11 F.M. Martins, J.M.R. Neto and C.J. da Cunha, "Mineral phases of weathered and recent electric arc furnace dust", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 154 (2008), p. 417-425.
- 12 M. Dondi, M. Marsigli and B. Fabbri, "Recycling of industrial and urban wastes in brick production: a review", *Tile & Brick International*, Vol.13 (1997), p. 218-225.
- 13 M. Dondi, M. Marsigli and B. Fabbri., "Recycling of industrial and urban wastes in brick production: a review (Part 2)", *Tile & Brick International*, Vol .13, (1997), p. 302-309.
- 14 Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 6459: Determinação do limite de plasticidade de solos, Rio de Janeiro, RJ (1984).
- 15 Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 7180: Determinação do limite de liquidez de solos, Rio de Janeiro, RJ (1984).
- 16 M. Marsigli and M. Dondi, "Plasticità delle Argille Italiane per Laterizi e Previsione del Loro Comportamento in Foggatura", *L'Industria dei Laterizi*, Vol. 46 (1997), p. 214-222.
- 17 C.M.F. Vieira, R. Sanchez and S.N. Monteiro, "Microstructure Evolution in Kaolinitic Clay as a Function of Firing Temperature", *Interceram*, Vol. 54 (2005), p. 268 - 271.
- 18 S.N. Monteiro and C.M.F. Vieira, "Characteristics and Influence of Firing Temperature on the Properties of Clays from Campos dos Goytacazes, Brazil", *Applied Clay Science*, Vol. 27, (2004), p. 229-234.
- 19 W.M. Carty and U. Senepati, "Porcelain-raw materials, processing, phase evolution, and mechanical behavior", *Journal of the American Ceramic Society*, Vol. 81, (1997), p. 3-20.