



## ESTUDO DA POSSIBILIDADE DE INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DA INDÚSTRIA DE RECICLAGEM DE ALUMÍNIO EM ARGILA EXPANDIDA

E. A. N. Takahashi <sup>(1)</sup>; E.N.S. Muccillo <sup>(2)</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Tecnologia de São Paulo, Pça Cel. Fernando Prestes, 30,  
Bom Retiro, São Paulo, 01124-060, SP

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, R. do Matão, Trav. R,  
400, Cidade Universitária, S. Paulo, 05508-000, SP  
elisatak@fatecsp.br

### RESUMO

*O presente trabalho apresenta um estudo sobre a possibilidade de incorporação do resíduo da indústria de reciclagem de alumínio como elemento integrante na fabricação de argila expandida. Serão mostrados os resultados de lixiviação, solubilização, absorção de água, massa específica, expansão pirolástica e resistência à compressão dos corpos de prova obtidos com incorporação de 5, 10, 15 e 20% de escória de alumínio na massa de argila. Os resultados evidenciam a possibilidade de incorporação de até 10% em massa da escória de alumínio.*

Palavras-chave: resíduo, reciclagem, escória de alumínio.

### INTRODUÇÃO

A necessidade crescente de materiais para as novas construções e, conseqüentemente, a diminuição de recursos naturais, é uma preocupação do mundo atual <sup>(1)</sup>.

Por outro lado, o acelerado processo de industrialização que existe em algumas regiões do país, causando uma expansão demográfica, tem acarretado um



aumento considerável na geração de resíduos sólidos, particularmente no que se refere aos de origem industrial. O tratamento inadequado dos resíduos sólidos contribui de forma marcante para o agravamento dos problemas ambientais, notadamente nos grandes centros urbanos <sup>(2)</sup>.

Atualmente no Brasil, a indústria de reciclagem, em especial a de alumínio, recicla em torno de 95% do alumínio produzido <sup>(3)</sup>, valor superior ao apresentado por países industrializados como Japão e Estados Unidos, o que corresponde a 9 bilhões de latas de alumínio, equivalente a 121 mil toneladas de material. Do processo de reciclagem, surge a escória de alumínio, classificada como secundária. Este material contém alumina ( $Al_2O_3$ ), o nitreto de alumínio (AlN), o espinélio ( $MgAl_2O_4$ ) e o alumínio metálico (Al), e também KCl, NaCl e sílica. O teor de alumínio varia de 5 a 20% em massa <sup>(4)</sup>.

A escória de alumínio secundária tem como destino aterros industriais, porém esta prática nem sempre isso ocorre, principalmente por pequenas empresas do setor, devido ao elevado custo da operação, cerca de US\$ 50,00/tonelada <sup>(4)</sup>.

Segundo dados da ABETRE (Associação Brasileira das Empresas de Tratamento de Resíduos), apenas 22% dos resíduos industriais gerados têm destinação correta, sendo que 16% desses resíduos vão para aterro, 1% é incinerado e 5% é co-processado, transformando-se em combustível para a indústria de cimento. E os restantes 78% são despejados de maneira irregular. Ainda em seu levantamento, anualmente são gerados cerca de 3 milhões de toneladas de resíduos industriais <sup>(5)</sup>.

Como o volume de escória de alumínio também tende a crescer, em virtude da crescente reciclagem, surge a necessidade de mais áreas de descarte do material, gerando dessa forma, outro problema, a disposição correta de resíduos, preocupação essa decorrente da atual consciência ambiental.

Vários estudos têm sido realizados em que se utiliza algum tipo de resíduo industrial, ou no concreto, ou na argamassa ou em blocos cerâmicos/concreto, podendo representar uma boa alternativa para reduzir o preço das moradias <sup>(2)</sup>.

Neste trabalho, são mostrados os resultados do estudo da possibilidade de incorporação da escória de alumínio na fabricação de argila expandida.

## MATERIAIS E MÉTODOS



A argila em estudo é oriunda da região de Várzea Paulista, da jazida Jarinu, sendo rica em silício, alumínio e ferro, sendo este material essencial para que ocorra a expansão pirolástica. A tabela I apresenta os dados fornecidos pela empresa Argexpan <sup>(6)</sup> de seu material e não há informação de qual técnica foi adotada para obtenção desse resultado.

Tabela I – Características da argila – dados fornecidos pelo fabricante.

ANÁLISE QUÍMICA TÍPICA	% em massa
Óxido de silício (SiO <sub>2</sub> )	62,23
Óxido de alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	23,55
Óxido de ferro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	9,39
Óxido de potássio (K <sub>2</sub> O)	2,73
Óxido de cálcio (CaO)	0,03
Óxido de magnésio (MgO)	0,85
Óxido de titânio (TiO <sub>2</sub> )	0,97
Óxido de sódio (Na <sub>2</sub> O)	0,23
Total	99,98
Perda ao fogo	8,25

A escória de alumínio é proveniente da indústria de reciclagem secundária de alumínio na região de Araçoiaba da Serra. Nenhum dado sobre a escória foi fornecido pelo fabricante.

Os corpos de prova com formato esférico foram confeccionados manualmente, com argila proveniente da jazida Jarinu e a escória de alumínio em proporções que variaram de 5%, 10%, 15% e 20%, em massa, na argila.

Os ensaios de massa específica e expansão pirolástica foram realizados com amostras, queimadas em forno tipo mufla (Quimis Q318 D21), ensaio de queima rápida (3 minutos), a temperaturas variando de 1000°C a 1170°C, sendo anotadas massas das amostras antes e após a queima e seus respectivos diâmetros e suas massas específicas aparentes ( $\gamma = Ms/V$ ), onde  $\gamma$  é a massa específica aparente; Ms é a massa seca após a expansão e V o volume aparente da amostra, obtido através do diâmetro médio da amostra. As determinações de massa específica antes e após a queima foram feitas em balança (Marte LS-200). A expansão pirolástica foi determinada por medição do diâmetro dos corpos de prova, antes e após a queima



(Paquímetro Mitutoyo)

O ensaio de queima rápida consiste aquecer o forno até a temperatura desejada, colocar o recipiente que irá receber a amostra e deixá-la por um período de 3 horas, de maneira que o recipiente fique à mesma temperatura do forno, e após esse período, queimar a amostra durante o período de 3 minutos, ocorrendo dessa forma a sua expansão.

O ensaio de absorção de água consistiu na imersão do material já preparado e com leitura de dados em 1, 2, 3, 4, 8, 20, 22, 24 e 28 horas. O material ficou imerso em água nos intervalos acima citados e sua massa após a imersão foi medida após o enxugamento da amostra com um pano seco <sup>(7)</sup>.

Os ensaios de lixiviação e solubilização foram realizados devido à presença de alguns metais pesados na escória de alumínio. Para observar se os materiais permanecem inertes quando incorporados à massa de argila, fez-se a necessidade de verificar quanto à toxicidade do produto quando do seu despejo em aterros. Para que tais ensaios fossem realizados, utilizaram-se as normas NBR 10005/04 <sup>(8)</sup> e 10006/04 <sup>(9)</sup>, procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos e procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, respectivamente. Para determinação da quantidade de metais pesados presente nos extratos solubilizados e lixiviados, foi utilizada a técnica ICP-AES, espectrometria de emissão atômica com plasma induzido.

Utilizou-se o agregado graúdo confeccionado neste trabalho para confecção de corpos de prova para verificação de sua resistência à compressão. Foram confeccionados 6 corpos de prova, sendo 3 corpos de prova utilizando argila expandida produzida comercialmente (empresa Argexpan) e 3 corpos de prova com a argila expandida com incorporação de 10% de escória de alumínio, rompidos aos 7 dias.

O concreto utilizado adotou o traço 1 : 2,73 : 2,38 (cimento : agregado miúdo : agregado graúdo), com relação água/cimento de 0,47. O cimento utilizado foi o de alta resistência inicial e areia média.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

É importante salientar que foram confeccionados 5 (cinco) corpos de prova para cada composição. Assim, os valores apresentados nas figuras 1 a 3

representam a média de 5 determinações independentes.

Os dados obtidos quanto à incorporação da escória de alumínio são mostrados nas figuras 1 a 3.

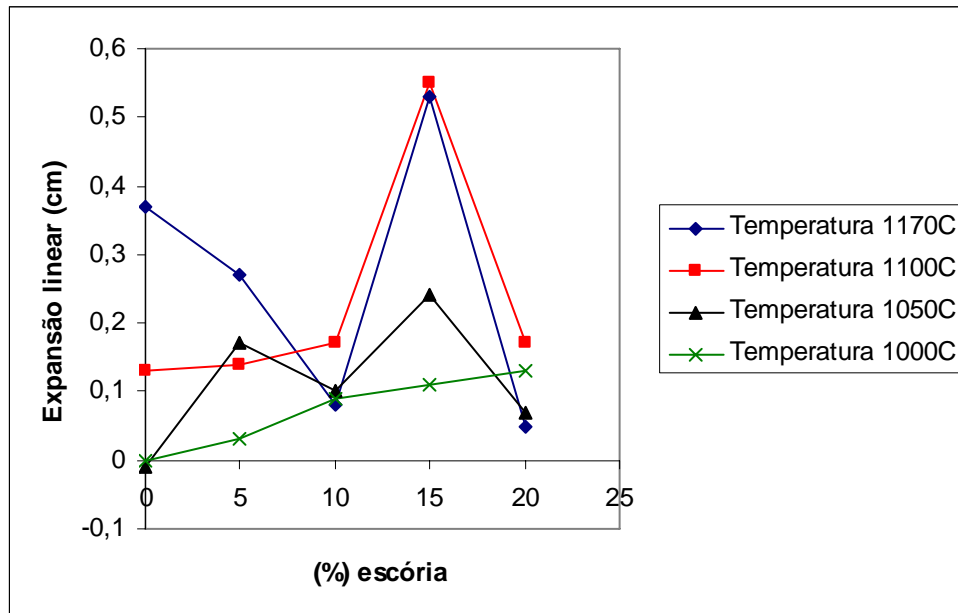


Figura 1 – Expansão linear das amostras

Na figura 1, observa-se que as amostras obtiveram expansão linear após o aquecimento, tendo as amostras com 15% de incorporação a maior expansão linear.

Dos ensaios de expansão linear pode-se verificar que todas as composições contendo a escória de alumínio apresentaram expansão superior àquelas das amostras sem escória, para as temperaturas de 1000, 1050 e 1100°C. Este resultado mostra que a adição da escória é efetiva para produzir expansão na massa de argila. À temperatura de 1170°C não ocorre expansão em todas as amostras contendo escória, provavelmente pelo alto teor de alumina no material, dificultando a liberação de gás do material.

As amostras tiveram uma variação de massa da ordem de - 0,30 g, apesar da expansão linear, conforme figura 1.

Todas as amostras, com e sem incorporação de escória de alumínio, apresentaram uma perda de massa após aquecimento nas temperaturas entre 1000 °C e 1170 °C. Essa perda de massa deve-se à eliminação de água física e quimicamente adsorvida, além da água estrutural e de constituição da argila.

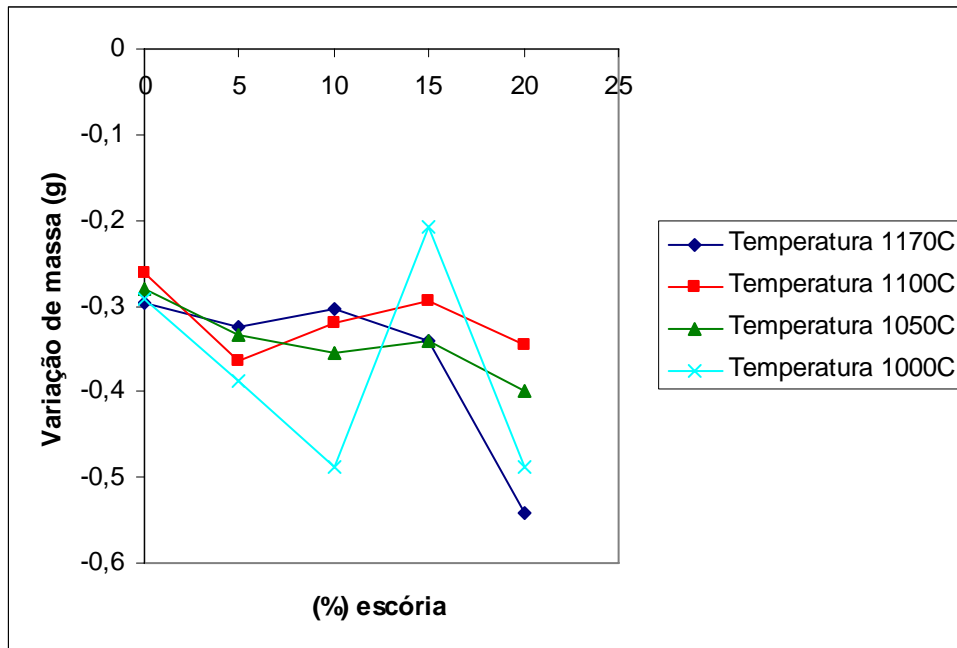


Figura 2 – Variação de massa das amostras

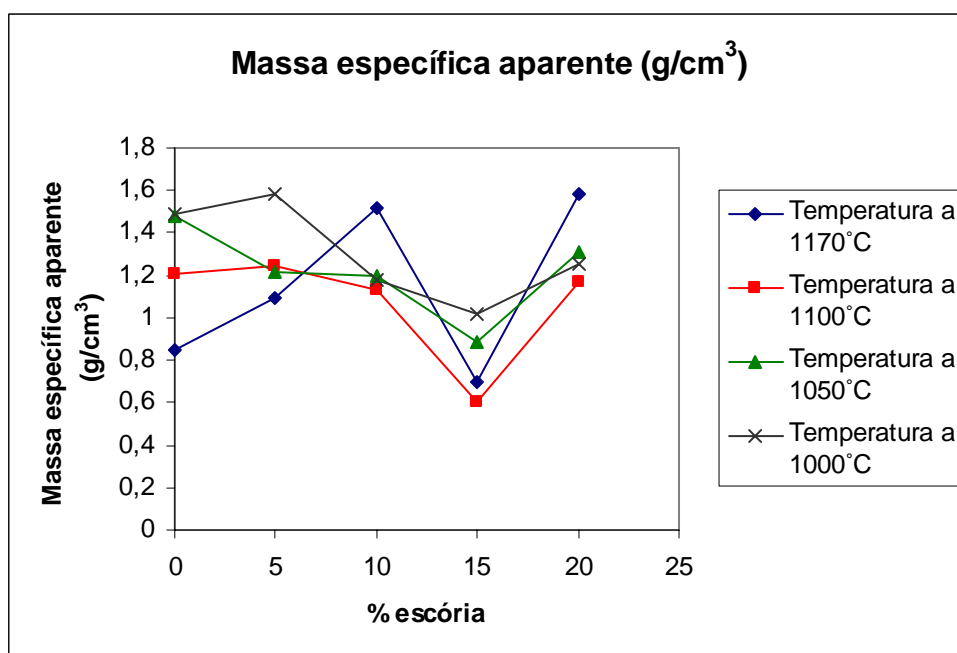


Figura 3 – Massas específicas obtidas

Observa-se na figura 3 que a massa específica aparente das amostras está entre  $0,60 \text{ g/cm}^3$  e  $1,60 \text{ g/cm}^3$ . A massa específica aparente de todas as amostras estudadas, queimadas entre  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $1170 \text{ }^\circ\text{C}$ , foi de  $0,8$  a  $1,7 \text{ g/cm}^3$ . Valores de massa específica até  $1,2 \text{ g/cm}^3$  estão dentro dos limites do material comercial. A média encontrada de  $1,7 \text{ g/cm}^3$  foi para as amostras queimadas à temperatura de

1170 °C, mostrando que esta temperatura é muito alta e outras reações devem estar acontecendo.

Na figura 4a e 4b estão apresentadas as amostras, antes e após queima a 1170 °C, com incorporação de 10% em massa de escória.



Figura 4a – Amostra com 10% de escória, antes da queima.



Figura 4b – Amostra com 10% de escória, após queima a 1170°C.

Essas imagens exemplificam a expansão ocorrida durante a queima. Imagens semelhantes a essas foram obtidas com amostras com as demais composições. Para os corpos de prova com 15% de escória, antes e após a queima a 1170 °C, ocorreu expansão e fragmentação. Esse resultado mostrou que o máximo de incorporação de rejeito é de aproximadamente 10%

No ensaio de absorção de água, obteve-se o resultado mostrado na figura 5.

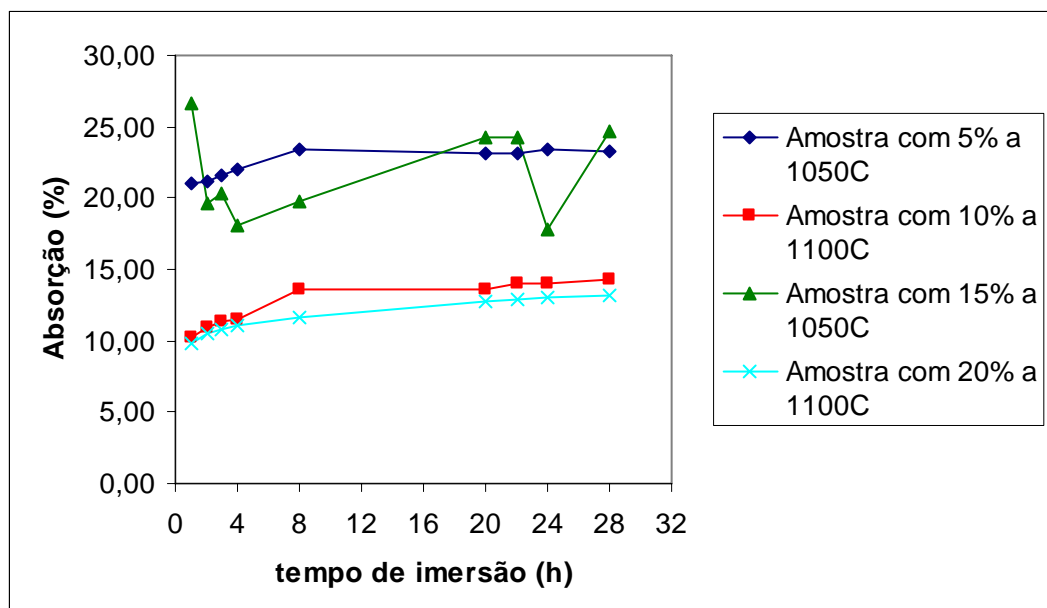


Figura 5 – Absorção de água da amostra



Do ensaio de absorção de água, obteve-se a média de 19%. Observou-se também, que o material imerso em água por 28 horas obteve médias distintas, conforme a porcentagem de incorporação de escória. Para as amostras de 10% e 20% de incorporação de escória, queimadas a 1100°C, a absorção de água foi em média de 14%, já para as amostras de 5% e 15% de incorporação de escória, a média de absorção de água foi de 24% para a temperatura de queima de 1050°C. A variação deveu-se provavelmente a temperatura de queima diferente e as amostras que continham 15% apresentaram-se muito expandidas e com vários poros, o que pode ter aumentado sua absorção de água. Outro fator observado, foi que as amostras de 5% e 15% de incorporação de escória, soltavam fragmentos após o período de imersão. Os valores encontrados estão acima do observado em outros trabalhos que analisaram a argila expandida comercial <sup>(7)</sup>. Alguns trabalhos citam a média de 11% <sup>(8)</sup>. Essas diferenças podem estar relacionadas com o método de conformação (manual no presente trabalho) e a queima do material ser em forno tipo mufla e não em forno rotatório, como no caso da referência <sup>(7)</sup>.

A massa específica não apresentou variações significativas, tendo um valor médio igual a 1,35 g/cm<sup>3</sup>. Este valor indica que se o material for usado como agregado graúdo para concreto, ele deve ser saturado antecipadamente para que não ocorram alterações no traço do concreto, de forma a modificar a sua resistência final.

Tabela II – Análise comparativa de metais presentes encontrados no extrato lixiviado e a NBR 10004/2004.

Elemento	Resultado obtido do extrato lixiviado por ICP-AES (mg/L)	Limite máximo no extrato obtido no ensaio de lixiviação, segundo a NBR 10004/2004 (mg/L)
Chumbo	< 0,05	1,0
Cromo total	<0,001	5,0

O material foi submetido aos ensaios de lixiviação e solubilização para análise





quando do seu descarte, uma vez que o material de construção civil, segundo a NBR 10004/2004 é considerado inerte. Após preparo dos extratos lixiviado e solubilizado os materiais foram submetidos ao ensaio de ICP-AES. Na tabela II é mostrado o resultado obtido para o extrato lixiviado, enquanto que na tabela constam os resultados do extrato solubilizado.

Tabela III – Análise comparativa de metais presentes encontrados no extrato solubilizado e a NBR 10004/2004.

Elemento	Resultado obtido do extrato solubilizado por ICP-AES (mg/L)	Padrões para o ensaio de solubilização, segundo a NBR 10004/2004 (mg/L)
Alumínio	0,043	0,2
Chumbo	<0,05*	0,01
Cromo total	<0,001	0,05
Ferro	<0,05	0,3
Manganês	<0,001	0,1
Zinco	<0,001	5,0
Cobre	<0,01	2,0

- limite de detecção do equipamento ICP-AES

Do resultado obtido do extrato lixiviado por ICP-AES, o material analisado pode ser considerado inerte. Quanto à análise do extrato solubilizado, o valor mostrado na tabela III é superior ao admitido pela NBR 10004, porém aquele valor refere-se ao limite de detecção da técnica utilizada, e não o valor encontrado na amostra.

Para verificação do comportamento dos agregados produzidos com a incorporação de escória de alumínio, foram feitos corpos de prova ( $5 \times 10 \text{ cm}^2$ ) com concreto e adição de argila expandida comercial e argila expandida com incorporação da escória. Foi utilizado o cimento de alta resistência inicial, areia média e em substituição a pedra britada, foram utilizadas as argilas citadas acima. O traço obtido para uma resistência de 10 MPa, foi de 1: 2,73 : 2,38. Uma parte de cimento, 2,73 de areia (em volume) e 2,38 de agregado. Somente a argila expandida



comercial foi saturada inicialmente.

O resultado obtido é apresentado na tabela IV.

Tabela IV – Resistência à compressão dos corpos de prova.

Corpo de prova	Resistência à compressão (MPa)
1	9,1
2	8,1
3	16
4	2,8
5	1,5
6	2,4

Os corpos de prova 1 a 3 correspondem aos corpos de prova contendo argila expandida comercial. Os corpos de prova 4 a 6 correspondem aos corpos de prova contendo a argila expandida com incorporação da escória de alumínio.

Segundo Garlet <sup>(2)</sup> o concreto leve feito com agregado leve é obtido da mistura de cimento, agregado miúdo e agregado graúdo leve. E que sua massa unitária pode variar de 300 a 1350 kg/m<sup>3</sup>, dependendo de sua aplicação. O concreto com agregado leve de argila expandida tem uma resistência à compressão variando de 5,6 a 8,4 MPa. Do ensaio de resistência à compressão observou-se que os resultados obtidos dos corpos de prova 4, 5 e 6, que utilizaram o agregado produzido neste trabalho, tiveram resultados inferiores aos obtidos dos corpos de prova que utilizaram a argila expandida comercial, isso se deve a dois fatores. Primeiro, os agregados produzidos não foram saturados inicialmente, o que influencia no resultado final obtido, porque pode haver alteração na relação água/cimento, e segundo porque os agregados produzidos neste trabalho tinham diâmetros relativamente grandes para o tamanho dos corpos de prova (5 cm x 10 cm) utilizados.

## CONCLUSÕES

Os resultados das análises mostraram a possibilidade de incorporação da



escória de alumínio até aproximadamente 10% na massa de argila, sendo que as amostras com 5% de incorporação apresentam melhores resultados.

Todas as amostras apresentaram expansão pirolástica superior à das amostras sem adição da escória, a amostra com 15% de escória fragmentou por excesso de expansão.

Incorporações em até 10% de escória de alumínio atendem aos padrões existentes, exceto para a temperatura de 1170 °C.

Após a incorporação da escória de alumínio na massa de argila, exceto o chumbo, o material pode ser considerado inerte, segundo o estabelecido na NBR 10004/2004.

Os resultados apresentados indicam a possibilidade de re-utilização de um material que até o momento não tem utilidade.

Quanto ao resultado obtido de resistência à compressão, a argila expandida produzida apresentou valores abaixo do esperado, devido principalmente ao tamanho dos agregados e das dimensões dos corpos de prova.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Fatec São Paulo e Ipen pela contribuição no desenvolvimento e realização da pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. S. Domingos. Alternativas para a construção civil. **Quantum**, Santa Catarina, n. 1, N 2, p. 1-2, agosto de 2003.
2. Garlet, G. **Aproveitamento de resíduos de E.V.A. (Ethylene Vinyl Acetate) como agregado para concreto leve na construção civil**. Rio Grande do Sul, 1998, 130p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.
3. **Conhecendo o material**. Disponível em: <http://www.cempre.org.br>. Acesso em 4 de fevereiro de 2005.
4. E. G. Araújo, **Desenvolvimento de Pós de Alumínio para a Produção de Concreto Celular – Projeto FAPESP 00/00219-2**. São Paulo, 2001, 97p. Relatório de pós doutorado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2001.



5. ABETRE. Disponível em <http://www.abetre.org.br>. Acesso em 20 de março de 2006.
6. **ARGILA EXPANDIDA**. São Paulo: Argexpan, sd. 4 p. Catálogo comercial/técnico.
7. A. K. Pinheiro, **Agregados Leves Estruturais de Argila Expandida**. *In*: Colóquio sobre “Agregados para Concreto”. São Paulo, 1979, pp. 55
8. Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 10005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004. 16 p.
9. Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 10006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004. 3 p.

## STUDY ON ALUMINUM SLAG INCORPORATION IN LIGHTWEIGHT AGGREGATE

### ABSTRACT

Expansive clays are obtained after a pyroplastic expansion, and are usually employed as lightweight aggregate in structural concrete as ornamental garden products. The purpose of this work was to evaluate the possibility of incorporation of aluminum slag into clay materials. The characterization of specimens with 5, 10, 15 and 20 wt.% slag was carried out by several techniques. The main results evidence the possibility of up to 10 wt.% of aluminum slag incorporation into the clay mass for producing expansive clays with characteristics within the accepted standards.

Key-words: recycling, aluminum slag, expansive clay lightweight aggregate.