SEMINÁRIO

BETÃO PARA A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

- A Utilização de Materiais não Tradicionais
na Produção de Betões Correntes –

Lisboa, 19 de Abril de 2002

Centro de Congressos de Lisboa

Praça das Indústrias

SEMINÁRIO

Betão para a Construção Sustentável

- A Utilização de Materiais não Tradicionais na Produção de Betões Correntes –

Documentação Técnica:

1.ª Sessão: Utilização de Sub-produtos e Resíduos Industrias

- "Utilização de resíduos da indústria cerâmica no betão" – Versão Inglesa
  (Utilisation of Wastes from Ceramic Industries for Low Costs and High Performance Concrete)
  Said Jalali

- "Utilização de cinzas volantes de incineração de RSU"
  Barroso de Aguiar

- "Melhoria da durabilidade do betão com cinzas volantes"
  Aires Camões

- "Utilização das cinzas de casca de arroz (RHA) como adição nos betões" – Versão Inglesa
  (Portuguese rice husk ash as a partial cement replacement)
  Joaquim Sampaio, Joana S. Coutinho, M. N. Sampaio

2.ª Sessão: Reciclagem de Agregados para a Produção de Betões

- "A investigação na área da reciclagem"
  Jorge de Brito, José Roberto dos Santos

- "Campanha experimental efectuada no IST"
  José Roberto dos Santos, Jorge de Brito, Ana Paula Gonçalves, Fernando Branco

- "Análise as viabilidade económica da reciclagem de agregados"
  Jorge de Brito, Ana Paula Gonçalves

SEMINÁRIO

BETÃO PARA A CONSTRUÇÃO SUTENTÁVEL

- A utilização de materiais não tradicionais na produção de betões correntes –

1.ª SESSÃO

Utilização de Sub-Produtos e Resíduos Industrias

UTILIZAÇÃO DE CINZAS VOLANTES DE INCINERAÇÃO DE RSU

Barroso de Aguiar

Utilização de cinzas volantes de incineração de RSU

B. Aguiar[1], P. Taborda[2], A. Azevedo[3] e R. Oliveira[4]

Resumo: A gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) é actualmente um problema que requer uma abordagem concertada em diversas frentes, por forma a assegurar um desenvolvimento sustentável. Para permitir o melhor aproveitamento dos RSU é necessário adoptar diversas soluções em simultâneo: reutilização, reciclagem, compostagem, valorização energética e deposição em aterro sanitário. Assim, considerando a incineração como a solução central para os RSU, devido à sua eficiência na redução da massa e volume dos mesmos, é imprescindível não esquecer, a montante, a triagem o mais rigorosa possível de todos os constituintes que podem ser valorizados e, a jusante, estudar soluções para os resíduos últimos da incineração.

Este trabalho surge neste contexto, numa tentativa de dar solução às cinzas volantes, provenientes da Central de Valorização Energética Lipor II, incorporando-as em argamassas para determinar a possibilidade da sua utilização na construção civil, evitando assim que sejam depositadas em aterro. A incorporação das cinzas volantes seguiu dois caminhos, em argamassas normais e em argamassas adesivas. Os provetes de argamassa normal foram submetidos a ensaios de resistência à flexão e à compressão e ensaios de lixiviação. As argamassas adesivas foram submetidas a ensaios de aderência.

Os resultados obtidos são bastante animadores, pois a perigosidade do resíduo estudado não é tão elevada como o usualmente relatado na bibliografia. Os ensaios de lixiviação revelaram somente a libertação de alumínio e, além disso, em quantidades inferiores às libertadas na lixiviação dos provetes padrão. A incorporação das cinzas volantes de incineração de RSU provocou uma diminuição das resistências à flexão e à compressão das argamassas normais, que poderá ser contrariada pela utilização de um cimento de classe superior. Relativamente às argamassas adesivas, a incorporação das cinzas volantes não prejudicou a aderência.

Assim, pode concluir-se que as cinzas volantes de incineração de RSU podem ser utilizadas na produção de argamassas na construção civil. Esta utilização permite poupar matérias-primas naturais, ajudando a uma maior preservação dos recursos naturais, além de diminuir as necessidades de terreno para aterro. A incorporação em betões será também possível. Torna-se necessário estudar as propriedades dos betões com incorporação de cinzas volantes de incineração de RSU. As implicações na durabilidade dos betões terão igualmente que ser avaliadas.

[1] - Professor Associado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho.
[2] - Estudante do Mestrado em Tecnologia do Ambiente, Universidade do Minho.
[3] - Estudante da Licenciatura em Engenharia Civil, Universidade do Minho.
[4] - Professora Associada, Departamento de Engenharia Biológica, Universidade do Minho.

1. Introdução

O aumento da população e do consumo, provocou o aumento da quantidade de resíduos produzidos. Assim, surgiu a necessidade de criação de sistemas integrados de gestão de resíduos, e em particular de resíduos sólidos urbanos. A Comunidade Europeia na Estratégia Comunitária para a gestão dos resíduos, em 7 de Maio de 1990, definiu cinco eixos estratégicos para a gestão de resíduos: prevenção, revalorização, optimização da eliminação final, regulamentação do transporte e acção reparadora. Este trabalho enquadra-se nessa estratégia.

Dentre as tecnologias de tratamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) a incineração é o processo térmico com maior aplicação. Uma das vantagens da incineração é a redução no volume e no peso dos resíduos, de 90% e 70%, respectivamente. Reduzindo ainda os conteúdos de contaminantes para níveis muito baixos [1]. Os produtos finais da combustão são gases, cinzas volantes e escórias. O objectivo deste trabalho é a inertização das cinzas volantes da Lipor II, através da sua incorporação em argamassas produzidas com cimento portland para determinar a possibilidade da sua utilização na construção civil.

2. Caracterização dos RSU

A gestão dos RSU impõe hoje em dia um conhecimento sistemático e aprofundado das características, quantitativas e qualitativas, desses mesmos RSU. A caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos na Área Metropolitana do Porto tem sido promovida pela LIPOR – Serviço Intermunicipalizado de Tratamento de Lixos da Região Porto, desde 1990 (Quadros 1 e 2) [2]. Os municípios que integram a Lipor são Porto, Matosinhos, Maia, Valongo, Gondomar, Vila do Conde, Espinho e Póvoa de Varzim.

Quadro 1 – Produção e capitação de RSU nos municípios que integram a Lipor.

Ano	Produção RSU (ton)	Capitação (kg/hab.ano)
1990	269 140	312
1991	295 247	342
1992	325 785	374
1993	360 566	411
1994	367 092	415
1995	371 516	418
1996	399 970	446
1999	475 000	487

O Plano Estratégico dos Resíduos Sólidos Urbanos [3], previa que, com a entrada em funcionamento, em 1999, das Centrais de Incineração das Áreas Metropolitanas do Porto (Lipor II) e Lisboa (Valorsul), seriam incineradas cerca de 1 100 000 ton RSU/ano (cerca de 30% do total de RSU produzidos em Portugal),

produzindo-se cerca de 85 000 ton/ano de RDG (resíduos de depuração gasosa), sendo as cinzas volantes o resíduo predominante.

Quadro 2 – Composição média dos RSU produzidos nos municípios que integram a Lipor, em 1999/2000.

Material	Composição* (%)
Materiais fermentáveis	39,4
Papel e cartão	18,1
Vidro	5,1
Metais (ferrosos e não ferrosos)	1,6
Plásticos	12,2
Têxteis	3,2
Finos (< 20 mm)	11,0
Outros	9,5

* - Os valores apresentados não incluem as fracções recolhidas selectivamente.

3. Caracterização das cinzas volantes provenientes da incineração de RSU

A composição das cinzas é muito variável e depende das características da instalação de incineração, das condições operatórias, hábitos dos residentes e existência ou não de sistemas de recolha selectiva a montante da instalação. As cinzas volantes da Lipor II analisadas por espectroscopia de dispersão de energia (EDS) acoplada a microscópico electrónico, revelaram a composição dada pelo espectro indicado na figura 1.

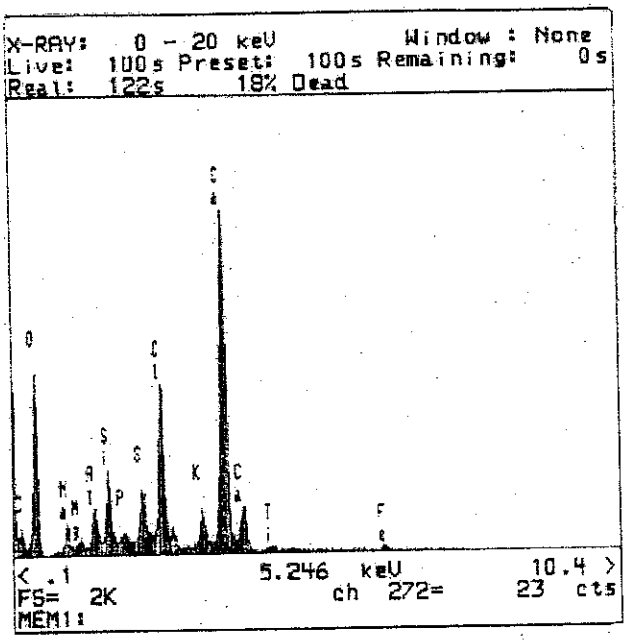

Fig. 1 – Espectro da composição elementar das cinzas volantes da Lipor II, determinado por EDS em microscópio electrónico.

Como se pode observar desta análise são detectáveis apenas os seguintes metais: alumínio, titânio e ferro, sendo estes dois últimos apenas em quantidades vestigiais. Podendo concluir-se que a perigosidade deste resíduo não é tão elevada como o relatado na bibliografia [4, 5]. Esta discrepância poderá estar associada à diferente composição dos resíduos em Portugal, comparativamente com os resíduos de países mais industrializados. É também importante referir, que a aceitação dos resíduos na Central de valorização Energética – Lipor II, tem sido objecto de uma selecção extremamente rigorosa, podendo esta ser a principal razão para as características das cinzas volantes. De salientar a presença de uma quantidade importante de cloro.

As curvas granulométricas do cimento tipo I, classe 32,5 R e das duas amostras de cinzas volantes utilizadas, apresentam-se na figura 2. Pode observar-se uma semelhança entre as granulometrias dos dois materiais, sendo as cinzas volantes de RSU um pouco mais grossas.

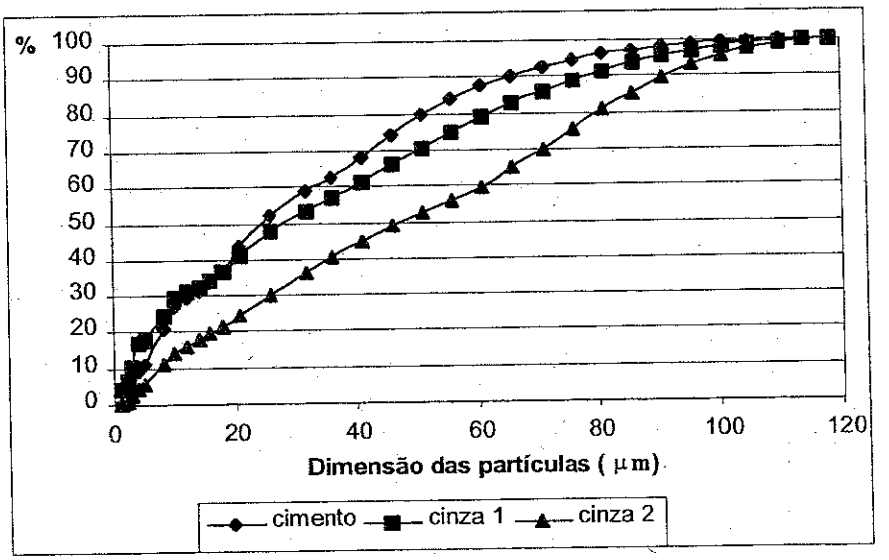

Fig. 2 – Curvas granulométricas do cimento e das cinzas volantes utilizadas.

4. Incorporação das cinzas volantes de RSU em argamassas normais

As cinzas volantes foram incorporadas em argamassas de cimento, produzindo-se provetes que após o seu endurecimento foram ensaiados à flexão e à compressão. Dois caminhos foram seguidos: substituição de uma percentagem de cimento por cinzas volantes (10%, 20% e 30% em massa) e substituição de uma percentagem de areia por cinzas volantes (5%, 10%, 20% e 30% em massa).

Utilizou-se um cimento do tipo I, classe 32,5 R e a areia normal especificada na norma NP EN 196-1 de 1990. O traço da argamassa padrão foi 1:3:0,5. Com a incorporação das cinzas volantes naturalmente que o traço se alterou, inclusive a dosagem de água. Recorrendo ao ensaio de espalhamento avaliou-se a trabalhabilidade da argamassa padrão. As dosagens de água das restantes argamassas, com incorporação

de cinzas volantes, foram fixadas por tentativas de tal forma que a trabalhabilidade se mantivesse igual à da argamassa padrão.

O fabrico dos provetes e a sua conservação seguiu na totalidade a norma NP EN 196-1 de 1990. As dimensões dos provetes eram 4x4x16 cm. Nas idades escolhidas para efectuar os ensaios (7, 28 e 56 dias), os provetes foram em primeiro lugar ensaiados à flexão, com carga concentrada a meio vão. Em seguida, os dois meios provetes resultantes do ensaio anterior forma ensaiados à compressão. A norma NP EN 196-1 foi igualmente cumprida durante a realização dos ensaios de flexão e de compressão.

Nas figuras 3 e 4 apresentam-se os resultados obtidos para a resistência à compressão aos 28 dias. Com a incorporação das cinzas volantes há uma diminuição da resistência à compressão. Quando a incorporação se dá substituindo cimento a diminuição da resistência é mais acentuada, apesar de a substituição de areia implicar um aumento na quantidade de água de amassadura para manter a trabalhabilidade.

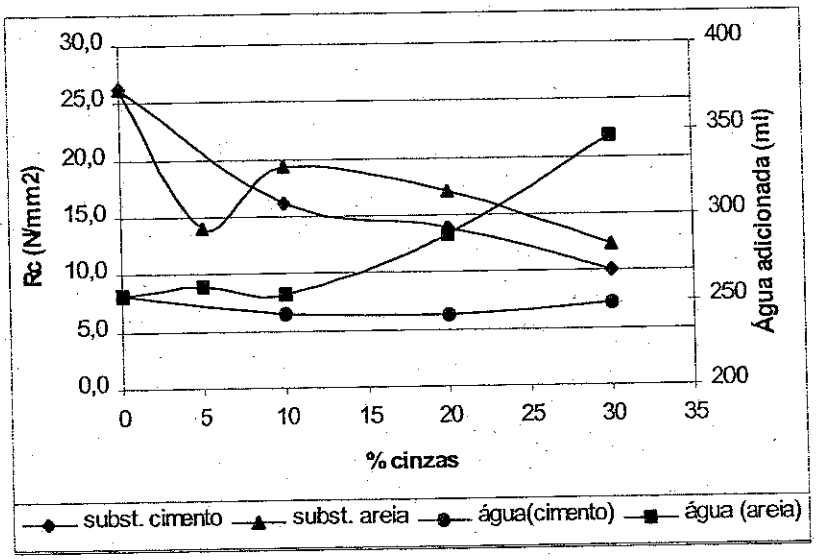

Fig. 3 – Resistência à compressão aos 28 dias e quantidade de água de amassadura em função da percentagem de cinzas volantes de RSU.

Utilizando 10 % de cinzas volantes em substituição da areia verifica-se uma redução de 26 % da resistência à compressão. Para 20 % de substituição da areia, a redução é de 35 %. Utilizando 10 % de cinzas volantes em substituição do cimento, a redução, também da resistência à compressão, é de 38 %. Estas reduções de resistência até 38 % poderão ser anuladas se utilizarmos um cimento de uma classe superior.

5. Incorporação das cinzas volantes de RSU em argamassas adesivas

Uma empresa de argamassas prontas mostrou interesse em que fosse avaliada a possibilidade de incorporação das cinzas volantes provenientes da incorporação de RSU num dos seus produtos, as argamassas adesivas. Para isso, foram realizadas quatro composições distintas. Uma primeira sem adição de cinzas volantes e mais três com

substituição de areia por cinzas volantes em quantidades de 5, 10 e 20 %. Para o fabrico das argamassas adesivas utilizou-se cimento tipo I, classe 42,5 R, numa percentagem de 22 % em peso do somatório da mistura seca. Outros constituintes utilizados foram: cal hidraúlica, filler calcário, areia siliciosa e adjuvante incrementador da aderência. A água adicionada a todas as misturas foi de 25 % em peso do somatório dos secos.

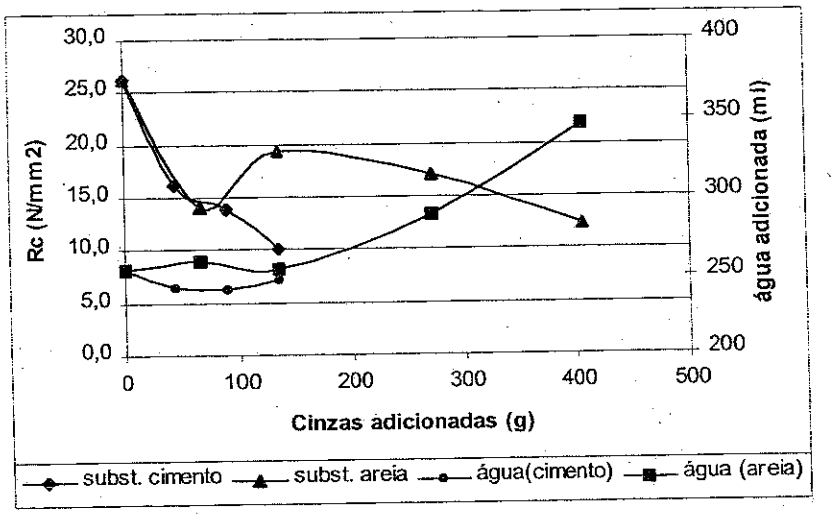

Fig. 4 – Resistência à compressão aos 28 dias e quantidade de água de amassadura em função da quantidade de cinzas volantes de RSU.

Relativamente às argamassas adesivas, a única propriedade avaliada foi a aderência. Para a determinação desta propriedade seguiu-se o método referido no projecto de norma europeia prEN 1348. Utilizou-se uma base de betão preparada de acordo com o prEN 1323. Sobre essa base de betão são colados azulejos vitrificados na face superior. As colagens foram executadas com as quatro diferentes composições de argamassa adesiva em estudo.

Aos 27 dias, procedeu-se à colagem das chapas metálicas necessárias para os ensaios de arranque dos azulejos. Para estas colagens utilizou-se uma cola epoxídica. Decorridas 24 horas após a colagem das chapas, ou seja 28 dias desde a colagem dos azulejos com argamassa adesiva, efectuaram-se os ensaios de arranque com um dinamómetro adequado. Os resultados constam da figura 5. Os valores apresentados correspondem à média de dez ensaios.

Com a utilização de 10 % de cinzas volantes de RSU em substituição da areia obteve-se o valor mais elevado da aderência, cerca de 0,8 MPa. Analisando os tipos de rotura (Quadro 3), verifica-se que as roturas coesivas na argamassa adesiva são elevadas, 94 % para a argamassa sem cinzas volantes e 73 % para a argamassa com 10 % de incorporação. Isto significa que a aderência é maior que a coesão interna da argamassa adesiva.

Dado que a dosagem de água foi mantida constante, ao incorporar cinzas volantes de RSU em substituição de areia, origina uma diminuição da razão água/ligante. Esta situação poderá explicar o aumento de aderência verificado. Com 20

% de incorporação já se verifica uma diminuição da aderência devido ao facto da argamassa adesiva deixar de ter a consistência adequada.

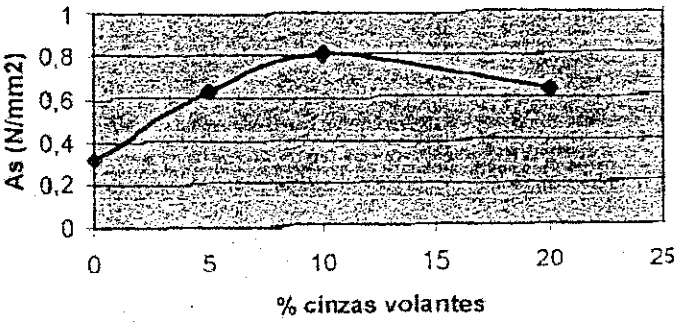

Fig. 5 – Variação da aderência dos azulejos com a percentagem de cinzas volantes.

Quadro 3 – Resumo dos tipos de rotura

Quantidade de cinzas volantes (%)	Tipos de rotura
0	Argamassa adesiva (94%)/adesiva base de betão (6%)
5	Argamassa adesiva (33%)/adesiva base de betão (67%)
10	Argamassa adesiva (73%)/adesiva base de betão (27%)
20	adesiva azulejo (86%)/adesiva base de betão (14%)

6. Ensaios de lixiviação

Estes ensaios realizaram-se de acordo com a norma francesa X31-211, com algumas adaptações. Utilizaram-se provetes com as dimensões 40x40x80 mm. Após cada lixiviação o lixiviado foi filtrado, sendo seguidamente efectuadas medições de pH e condutividade do lixiviado. Efectuou-se também a determinação da fracção solúvel do lixiviado após filtração. Para a determinação das concentrações de metais nas amostras de lixiviados utilizou-se espectrofotometria de absorção atómica.

Quanto à condutividade e à fracção solúvel, verificou-se um acréscimo destas características com a incorporação de cinzas volantes de RSU (Fig. 6). O Decreto-Lei 236/98 de 1 de Agosto recomenda que as águas superficiais destinadas à produção de água para consumo humano apresentem uma condutividade inferior a 1000 µS/cm. Este valor é respeitado apenas pelo provete padrão e pelo provete com 10 % de cinzas em substituição do cimento.

O pH geralmente diminui quando se adicionam as cinzas volantes resultantes da incineração de RSU (Fig. 7). Relativamente à presença de metais nos lixiviados, apenas se detectou a presença de alumínio e em quantidades inferiores às libertadas pelo provete padrão. Dado que este metal também faz parte da composição do cimento portland, as quantidades de alumínio libertadas poderão ser provenientes tanto do cimento como das cinzas volantes. A estabilização deste metal consegue-se bastante

bem através da incorporação em argamassas. O lixiviado das cinzas volantes apresentou uma quantidade de alumínio de cerca de 26,1458 mg/l enquanto os lixiviados dos provetes de argamassa não apresentaram quantidades superiores a 1,19 mg/l.

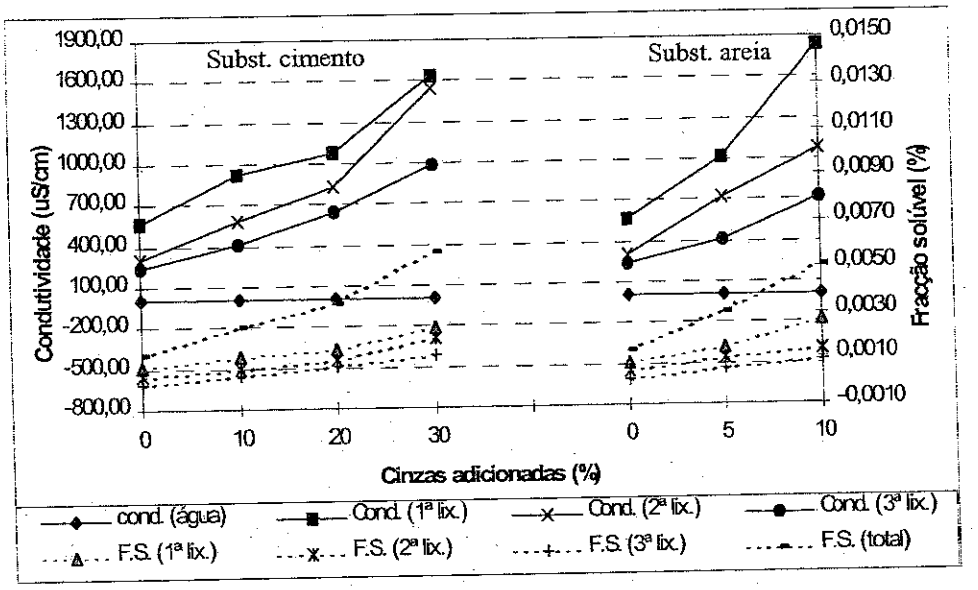

Fig. 6 – Variação da condutividade e da fracção solúvel com as percentagens de cinzas volantes adicionadas, para as 3 lixiviações (razão L/S = 2).

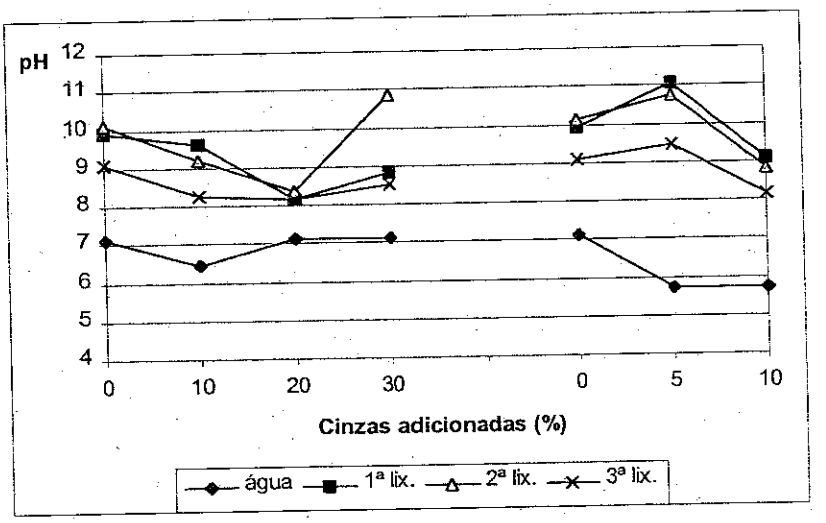

Fig. 7 – Variação do pH do lixiviado com as percentagens de cinzas volantes adicionadas, para as 3 lixiviações (razão L/S = 2).

7. Conclusões

A incorporação de cinzas volantes resultantes da incineração de resíduos sólidos urbanos em argamassas de cimento é possível. Esta incorporação permite uma maior preservação dos recursos naturais, como os locais de extracção de areias e de extracção

de matérias-primas para a produção de cimento. A redução das necessidades de terreno para aterro é outro benefício decorrente desta utilização.

Depois de incorporadas em argamassas de cimento as cinzas volantes diminuem significativamente a sua perigosidade. Apesar de tudo há limites máximos para a incorporação, de tal forma que as argamassas resultantes não apresentem perigosidade. É necessário acompanhar a composição das cinzas volantes, dado que podem ocorrer alterações no futuro.

Para continuação dos trabalhos seria interessante avaliar as possibilidades de utilização das cinzas volantes de RSU na produção de betões. A determinação das propriedades desses betões, incluindo as relacionadas com a durabilidade, terá que ser efectuada. O estudo terá que avaliar sempre a perigosidade desses betões.

Referências

[1] P. Taborda, *Inertização de cinzas volantes da Lipor II,* dissertação para a obtenção do grau de mestre em Tecnologias do Ambiente, Universidade do Minho, 2000.

[2] Lipor, *A caracterização dos resíduos sólidos,* Cadernos Técnicos Lipor, nº 1, Lipor, Porto, Fevereiro 2000.

[3] Ministério do Ambiente – Grupo de Tarefa para Coordenação do Plano Estratégico dos Resíduos Sólidos Urbanos, *Plano estratégico dos resíduos sólidos urbanos,* Instituto dos Resíduos, Lisboa, Julho 1997.

[4] M. F. Almeida et al, *Características de cinzas de incineração de resíduos sólidos urbanos e alternativas de gestão,* IX Encontro da Sociedade Portuguesa de Materiais, Materiais 99, Vol. II, Guimarães, Junho 1999.

[5] The World Resource Foundation, *Ash handling from waste combustion,* Technical brief, United Kingdom, 1995.