

III-526 – AVALIAÇÃO DAS ESCÓRIAS E CINZAS VOLANTES DA INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: ESTUDO DE CASO

Luiz Antônio Gomes de Barros Pontes⁽¹⁾

Administrador de Empresas pela Faculdade da Seune (2010), Engenheiro Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal de Alagoas (2014), Bolsista/CNPq do Programa Ciência sem Fronteiras (CsF) (2012-2013).

Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira

Engenheira Civil (1986) e Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental (1988) pela Universidade Federal da Paraíba (Campus II), Doutora em Hidráulica e Saneamento (2005) pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Professora Associada IV do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas.

Christiano Cantarelli Rodrigues

Engenheiro Químico pela Universidade Federal da Paraíba (1990), Mestre (1993) e Doutor (2002) em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos. Realizou Pós-Doutorado no Departamento de Química da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (2008/09), e é Professor Associado do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas.

Selêude Wanderley da Nóbrega

Engenheira Química pela Universidade Federal da Paraíba (1990), Mestre (1992) e Doutora (2002) em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos, realizou Pós-Doutorado na Universidade Nova de Lisboa, Portugal (2008/09), e é Professora Associada do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas.

Endereço⁽¹⁾: Rua Desportista Humberto Guimarães, 1049 Edif. Mário G. de B. Apto 401 – Ponta Verde - Maceió - AL - CEP: 57035-030 - Brasil - Tel: (82) – 3337-3414 - e-mail: luisantonioPontes@hotmail.com

RESUMO

A necessidade de redução de resíduos urbanos agrega problemas com terrenos de utilização de destino final, fazendo com que esses locais sejam inutilizados causando efeitos nocivos ao meio ambiente. Essa deficiência pode ser suprida através de um planejamento efetivo que contenha a incineração de todo resíduo coletado em uma determinada região e procure uma destinação final útil das escórias do resíduo incinerado, dando-lhe uma reutilização ecologicamente correta. Para isso, a Resolução nº 316/2002 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) regulamenta o processo da incineração determinando seus limites de emissão e permite incinerar Resíduos Urbanos, Hospitalares, Industriais e Cadáveres. O presente estudo tem como objetivo a elaboração de um teste de coluna para verificar o reaproveitamento das escórias de um resíduo incinerado, visando à reutilização destes resíduos de forma que, quando adicionados com certas quantidades de argamassa, possam ser utilizados na construção civil sem que seus componentes poluam o meio onde se encontra. Para tanto, foram avaliadas as águas resultantes do teste de coluna (lixiviado), segundo normas internacionais, com a verificação de níveis de pH, sulfatos, cloretos e condutividade elétrica. Para uma pesquisa inovadora e um estudo preliminar os resultados são muito promissores, servindo como base para pesquisas futuras, concluindo, teoricamente, ser possível o reúso dos resíduos incinerados em uma quantidade adequada para servir de matéria-prima na construção civil.

PALAVRAS-CHAVE: Incineração, Resíduos Urbanos e Reúso.

INTRODUÇÃO

No decorrer dos anos, estudos apontam que o crescimento urbano no Brasil tem aumentado bastante e como consequência, a geração dos resíduos urbanos. Segundo a ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Urbana), nos últimos 10 anos as taxas de crescimento populacional sempre foram inferiores às de produção de resíduos. Por exemplo, enquanto a população cresceu 9,65%, o volume de resíduos cresceu 21%, e esses números demonstram que o problema está aumentando cada vez mais. Para agravar a situação, a destinação final dos resíduos nem sempre é adequada. Em 2012, no Brasil, 105.111 t/dia eram depositadas em aterros sanitários, 43.881 t/dia em aterros controlados e 32.296 t/dia em lixões (ABRELPE, 2012). Os lixões e

aterros controlados não apresentam recursos de prevenção, controle ambiental e medidas de proteção do meio ambiente contra danos e degradações.

Existem algumas maneiras de tratar os resíduos sólidos urbanos e, geralmente, uma das mais utilizadas no Brasil, hoje, é o aterramento sanitário, porém esta forma de tratamento tem vida útil limitada e após o terreno ser utilizado, perde boa parte de sua diversidade ou riqueza ambiental.

Uma das alternativas para o tratamento que se pode dar aos resíduos urbanos seria a incineração. A grande vantagem da incineração é a redução de aproximadamente 70% da massa e 90% do volume dos resíduos incinerados, de modo que, apenas uma pequena parcela (cinzas e escórias) seria encaminhada aos aterros sanitários, aumentando assim, consideravelmente, sua vida útil. Além disso, é possível a instalação de incineradores mais próximos às fontes de geração de resíduos sólidos, reduzindo o custo de transporte. Outras vantagens do processo de incineração seriam: eliminação de patógenos dos resíduos contaminados, não contaminação do lençol freático (já que não gera chorume) e possibilidade de recuperação de calor e geração de energia no processo de combustão (LAM *et al.*, 2010 *apud* VALLE-ZERMEÑO *et al.*, 2012).

Dois tipos principais de resíduos são gerados no processo de incineração, conhecidos como *Bottom Ash* (BA) e os resíduos coletados pelo controle de poluição do ar (do inglês APC – *Air Pollution Control*), que é uma mistura de *Fly Ash* (FA), que são as cinzas volantes de resíduo de combustão com poluentes orgânicos e sais alcalinos na forma de pó, e precisam ter uma destinação final adequada para mitigar os seus efeitos sobre o meio ambiente. Nos Estados Unidos, a maior parte do FA é misturada com BA antes da eliminação em qualquer aterro misto. Na Suécia, Dinamarca e Alemanha, resíduos de APC são depositados em aterros seguros, após tratamento especial (EIGHMY; KOSSON, 1996, *apud* VALLE-ZERMEÑO *et al.*, 2012). Alguns países restringem a deposição de APC em aterro de resíduos, devido à lixiviação de metais pesados, e também por causa da indisponibilidade de áreas para tal finalidade ser uma limitação importante (QUINA *et al.*, 2008 *apud* VALLE-ZERMEÑO *et al.*, 2012).

Vários estudos veem sendo realizados sobre o aproveitamento de resíduos da incineração de resíduos sólidos urbanos. Pesquisas apontam que na Alemanha, cerca de 15 milhões de toneladas por ano de resíduos urbanos oriundos de incineração é parcialmente reutilizado na construção de estradas (MEZA *et al.*, 2009). No citado estudo, foi avaliada a lixiviação de materiais dos resíduos da incineração, por meio de teste em coluna, para a aplicação segura desses resíduos sem contaminação do solo e/ou das águas subterrâneas. Os resultados dos ensaios mostraram que no decorrer do tempo os níveis de pH, Cu, Cr, Cl, SO₄ e condutividade diminuíram na relação líquido/sólido, e que a liberação dos parâmetros de lixiviação também diminuiu, demonstrando o potencial de aproveitamento desses resíduos de forma ambientalmente segura.

O presente estudo teve como objetivo avaliar o potencial de reutilização das escórias e cinzas volantes resultantes do processo de incineração de resíduos sólidos urbanos como material de pavimentação, na construção civil, por meio da avaliação da qualidade do lixiviado resultante dos ensaios em coluna, observando: a caracterização das escórias; a análise da qualidade do lixiviado; a comparação dos resultados com as normas brasileiras e espanholas.

MATERIAIS E MÉTODOS

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

As cinzas avaliadas foram provenientes da empresa Servei d'Incineració de Residus Urbans (SIRUSA) em Tarragona (Espanha) localizada no Polígono Industrial Riu Clar, 0, 43006 Tarragona, Espanha.

Os resíduos incinerados eram provenientes da cidade da região da Catalunha, localizada no nordeste da Espanha, comunidade autónoma, situada a nordeste da península Ibérica. Ocupa um território de cerca de 32.000 km². A capital da Catalunha é a cidade de Barcelona, que em 2012, segundo o Instituto de Estatística da Catalunha (INDESCAT), contava com uma população de 7.570.908 habitantes. Os resíduos incinerados na indústria de incineração de Tarragona são os que sobram da coleta seletiva (fração orgânica, vidro, papel, embalagens) e a fração restante é incinerada com recuperação de energia. Os resíduos que são levados para incineração são domiciliares, hospitalares, de atividades urbanas.

PROCESSO DE INCINERAÇÃO E RESÍDUOS AVALIADOS

As amostras avaliadas foram as cinzas provenientes do processo de incineração realizado conforme descrito e ilustrado a seguir (Figura 1).

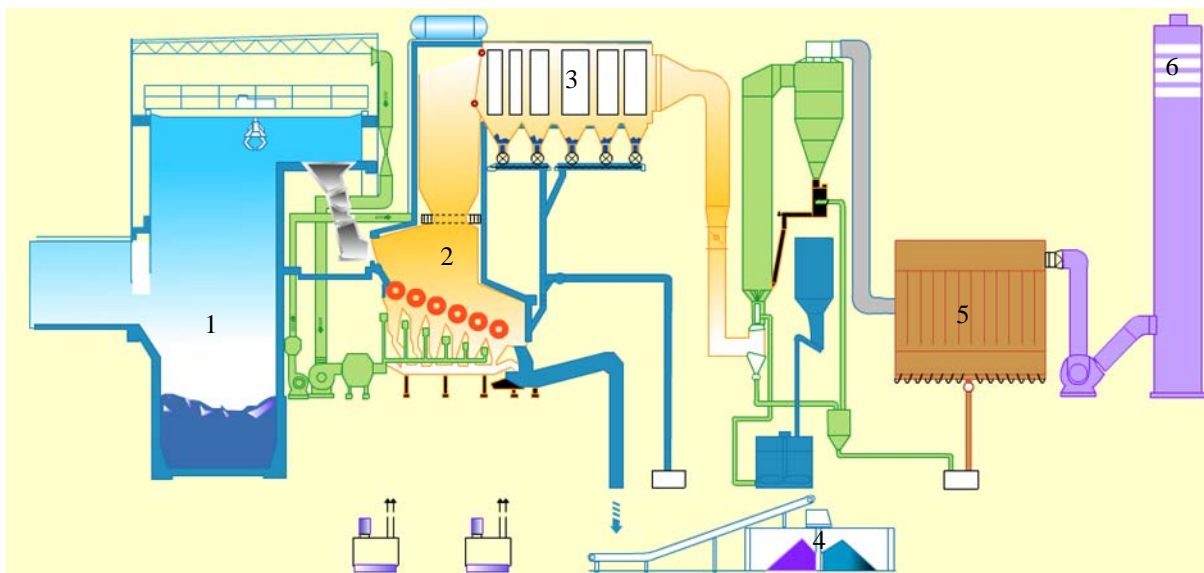


Figura 1: Representação esquemática do incinerador (Fonte: SIRUSA).

- (1) Fosso de recepção
- (2) Forno
- (3) Sistema de cogeração de energia
- (4) Cinzas resultantes do processo de incineração
- (5) Sistema de tratamento dos gases
- (6) RSC – Redutor Seletivo Catalítico

No incinerador entram cerca de 430 a 450 toneladas/dia, sendo que, em média, são tratadas (incineradas) 400 t e o resto é levado ao aterro. A planta funciona 365 dias por ano só sendo interrompido o processo para fazer a manutenção necessária.

Em seguida os resíduos são transportados, através de uma garra, para dois fornos com capacidade de incineração de 9,6 toneladas / hora cada um. A capacidade de projeto original da planta era de 144.000 t / ano, mas atualmente a capacidade técnica foi reduzida para 140.000 t / ano, aproximadamente. O valor calórico dos resíduos é de cerca de 2000 a 2100 Kcal / Kg. A temperatura de incineração é superior a 850 °C, e o tempo de permanência dos materiais gasosos derivados da queimada, no interior do forno, é de, pelo menos, 2 segundos.

Nos experimentos desde trabalho foram utilizados resíduos de FBA, WBA e argamassa com *Fly Ash* em diferentes proporções. FBA (*Fresh Bottom Ash*) é o material particulado ou as sobras residuais que foram retiradas do incinerador recentemente, após a combustão. WBA (*Weather Bottom Ash*) é o mesmo material (*Fresh Bottom Ash*) após três meses da incineração. Durante esse tempo, o material é deixado ao ar livre para que o dióxido de carbono (CO₂) se desprenda. Finalmente, *Fly Ash* é a porção das cinzas que escapa pela chaminé.

LOCAL DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Os dados apresentados nesta pesquisa foram coletados durante estágio no âmbito do Programa Ciência sem Fronteira/CNPq, realizado no período de 15 abril a 1° de julho de 2013, na Universidade de Barcelona, cidade de Barcelona, Espanha. As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório DIOPMA (Departamento de Ciência dos Materiais e Engenharia Metalúrgica) da Faculdade de Química da Universidade de Barcelona.

ENSAIO EM COLUNA PARA AVALIAÇÃO DO LIXIVIADO DO RESÍDUO DA INCINERAÇÃO

Os ensaios em coluna seguiram o protocolo descrito na norma CEN 14405 (Ensaio de Percolação em Coluna), vigente na Espanha. A pesquisa consistiu na realização de ensaios com a amostra de resíduos em coluna, em que a água passa por até 72 horas, sendo as coletas de água para análise realizadas após 10 min, 20 min, 30 min, 45 min, 1h, 2h, 4h, 8h, 24h, 30h, 48h e 72h, para avaliação de sulfato, cloretos, pH e condutividade elétrica. O objetivo era verificar a possibilidade de contaminação do lençol freático, em caso de utilização do material na construção de calçadas, estradas, etc. Como existem diferentes tipos de resíduos e também se podem mesclar os resíduos com cimento, foram feitas várias provas com diferentes colunas (Figura 2).



Figura 2: Ensaio de teste de coluna. (Fonte: Arquivo pessoal do autor principal).

O primeiro ensaio de coluna se realizou com material 100% *Fresh Bottom Ash*. Antes, porém, foi determinado o teor de umidade para fazer o cálculo da quantidade necessária de água a adicionar, de modo a se obter a umidade ótima de compactação (similar a Próctor).

A coluna tinha 40 cm de altura, sendo preenchidos os primeiros 10 cm de grânulos de PVC, 15 cm da amostra e mais 15 cm de grânulos de PVC. Depois a coluna foi conectada a uma bomba magnética (BOMAG-R1) com fluxo de 0,038 L/h, de forma que os vazios fossem preenchidos e assim evitasse caminhos preferenciais.

Quando a água preencheu toda a coluna, foram coletadas amostras nos seguintes tempos: 10min, 20min, 30min, 45min, 1h, 2h, 4h, 8h, 24h, 30h, 48h e 72h (amostra simples).

O segundo teste da coluna foi realizado com o material *Weather Bottom Ash* (WBA), seguindo o mesmo procedimento descrito anteriormente, com a diferença no enchimento da coluna que seguiu o seguinte protocolo: a coluna foi de 40 cm de altura, sendo os primeiros 10 cm preenchidos com material inerte, 18 cm de amostra e mais 12 cm de material inerte.

O terceiro teste da coluna foi realizado com material de argamassa (cimento + *fly ash*) altamente poluente. O procedimento foi o mesmo dos testes anteriores, sendo que a coluna tinha 40 cm de altura, a qual teve os primeiros 10 cm preenchidos com material inerte, 20 cm da amostra e 10 cm de material inerte (PVC).

DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA

Os parâmetros de qualidade de água do extrato lixiviado foram determinados segundo os métodos analíticos indicados na Tabela 1, e respectivos equipamentos.

Tabela 1: Métodos analíticos e equipamentos utilizados para caracterização dos extratos lixiviados.

Parâmetro	Unidade	Método Analítico e Equipamento
pH	-	Eletrométrico - pHmetro de Bancada AT 355
Condutividade	mS/cm	Eletrométrico - Condutímetro de Bancada EC -125
Sulfato	mg SO ₄ ²⁻ /L	Espectrofotométrico - M FIJA 14791 SULPHATES
Cloreto	mg Cl ⁻ /L	Colorimétrico - Clorímetro Digital

RESULTADOS E DISCUSSÃO

AMOSTRAS 100% FBA

A Figura 3 ilustra os resultados quando da utilização de 100% de FBA. Na primeira coluna de amostra *Fresh Bottom Ash* é possível observar que os valores de pH, condutividade e cloretos, se mantiveram praticamente constantes nas primeiras horas, quando foram coletadas amostras nos seguintes tempos: 10 min, 20 min, 30 min, 45 min, 1h, 2h, 4h e 8h. Já as quatro últimas amostras, coletadas depois de 24h, 30h, 48h e 72h de ensaio, com maior quantidade de água por sólido, apresentaram diminuição significativa nos referidos parâmetros.

O pH variou de 12,21 a 12,37 nas primeiras 8 horas, diminuindo até 11,37 na amostra coletada após 72 horas de ensaio. Estes valores estão fora do padrão para consumo humano segundo o Real Decreto Espanhol (140/2003) que é de 6,5 a 9,5. Para os padrões de lançamento de efluentes de qualquer natureza, a legislação brasileira através da Resolução CONAMA 430/2011, estabelece que o pH deve estar entre 5 e 9, ou seja, bem abaixo dos valores obtidos no lixiviado de FBA.

Com relação aos valores permitidos pela legislação da Catalunha, conforme a norma DIN 38414-S4 (Departament de Medi Ambient, 1996), a condutividade elétrica do lixiviado não deve ultrapassar 6000 µS/cm, para não comprometer as águas subterrâneas ou superficiais. Entretanto, os resultados indicaram valores acima deste referencial nas amostras coletadas até 8 horas de experimento, ou seja, de 6120 a 8010 µS/cm. Após 24 horas de ensaio, a condutividade passou a patamares aceitáveis, entre 4250 a 1205 µS/cm. A condutividade elétrica é a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. É sabido que esta tem estreita relação com os sólidos totais dissolvidos presentes na água.

Quanto aos cloretos, assim como o pH e a condutividade, apresentaram-se elevados nas primeiras 4 horas, diminuindo após 8h. Os valores máximos, médio, mínimo e desvio padrão foram iguais a 1305,18; 701,94; 186,84 e $\pm 293,74$ mg/L, respectivamente. Se considerarmos o padrão do Decreto Espanhol de Águas, o valor mínimo encontra-se dentro do padrão de 250 mg/L para águas de consumo humano.

Já os sulfatos, variaram de 2531,67 a 4722,89 mg /L, sendo o valor médio de 3327,00 mg /L. Para o padrão do Decreto Espanhol, este valor está fora do valor máximo de 250 mg/L para consumo humano.

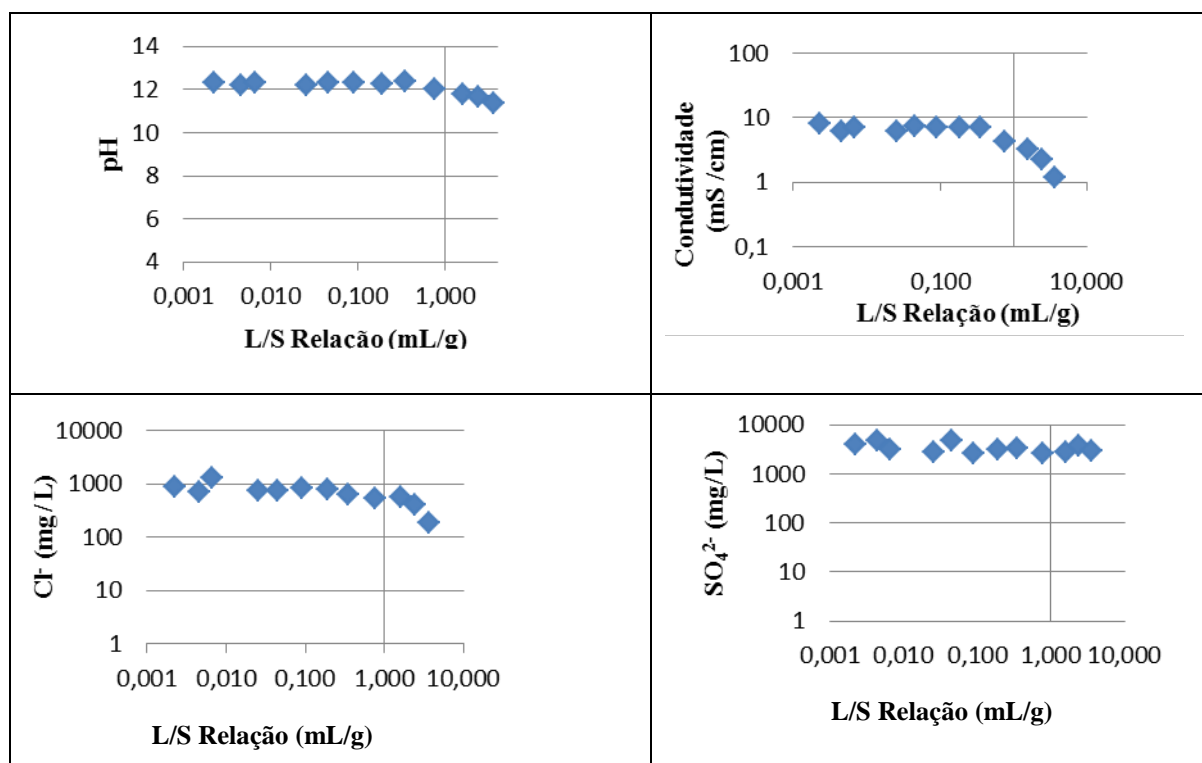


Figura 3: pH, condutividade, cloretos e sulfatos da amostra 100% Fresh Bottom Ash (FBA).

Considerando a possibilidade de contaminação das águas superficiais e subterrâneas o lixiviado em questão apresenta grande potencial de poluição, já que em ambientes anóxicos, o sulfato é reduzido a sulfeto, por bactérias, sendo este último um gás tóxico. Dentre os parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, dependendo do uso preponderante, o valor máximo permitido em águas subterrâneas é 250 mg/L quando o uso for o consumo humano, 1000 mg/L quando for irrigação, e 400 mg/L quando for recreação. Desta forma, os valores aqui encontrados limitam bastante os usos das águas subterrâneas, em caso de contaminação.

O Decreto Espanhol de águas para consumo humano se assemelha à Resolução CONAMA N° 396/2008 quanto aos níveis de cloretos e sulfatos para águas de consumo humano (250 mg/L tanto para cloretos quanto para sulfato, nas duas legislações). Tanto a legislação brasileira quanto a espanhola, ainda estabelecem valores de indicadores biológicos para os diversos usos da água, mas como nos resíduos incinerados não existe a possibilidade de patógenos, é uma vantagem quanto a esse requisito.

Ressalta-se que, foram considerados os valores após 72 horas de ensaio em coluna (mínimos) para efeito de comparação com as referidas legislações, já que, com o passar do tempo, a tendência é que haja um decaimento dos parâmetros avaliados no lixiviado.

Os resultados dos ensaios com amostra FBA, após 8 horas, demonstram uma melhora significativa para os parâmetros de pH, condutividade e cloretos. Os sulfatos apresentam uma tendência à queda, porém oscilante, ora crescendo e ora decrescendo.

Em seu estudo Freyssinet *et al.* (2002) utilizaram *fresh bottom ash* resultante da incineradora de resíduos sólidos urbanos da cidade de Paris (Syctom). E ao fazer o teste de lixiviação com duração de 500 dias, o pH inicial da água que era acima de 12, no final ficou menor que 7. Os cloretos, que nas amostras iniciais apresentaram concentrações de aproximadamente 10.000 mg/L, chegaram, próximo dos 500 dias, a patamares menores que 2000 mg/L. Em relação aos sulfatos, seus estudos indicaram uma diminuição progressiva a partir de 250 dias, quando as concentrações iniciais foram superiores a 1000 mg/L e seus resultados finais foram menores que 400 mg/L. Portanto, considerando que as amostras FBA da Catalunha e do estudo acima citado

são da mesma natureza (cinzas de resíduos sólidos urbanos incinerados), é possível que para um período longo de lixiviação, as amostras de água atendam aos padrões estabelecidos pelas normas, e não representem riscos à saúde ou ao meio ambiente.

WEATHER BOTTOM ASH (WBA)

Na Figura 4 estão indicados os resultados das análises de pH, condutividade, cloretos e sulfatos quando foi utilizada *Weather Bottom Ash* (WBA). Os resultados de *Weather Bottom Ash* (cinzas de fundo expostas ao tempo) teoricamente devem ser melhores que as amostras das cinzas de fundo frescas, devido à liberação de gases durante o processo de armazenamento ao ar livre. Portanto, percebe-se já uma melhora em comparação a amostra anterior quanto ao pH, em que o valor mínimo de 10,55 se aproxima mais do 9,5 exigido pelo Decreto de águas Espanhol para águas para consumo humano e 9,0 segundo a Resolução CONAMA 396/2008 para classificação de águas subterrâneas. Ainda, este valor também está próximo aos padrões de lançamento de efluentes, que é na faixa de 5 a 9, conforme a Resolução CONAMA 430/2011.

Quanto à condutividade tanto a máxima, 3830 $\mu\text{S}/\text{cm}$, quanto a mínima, 525 $\mu\text{S}/\text{cm}$, atendem à norma da Catalunha (*Departament de Medi Ambient*, 1996), que é de, no máximo, 6000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Na amostra WBA os níveis de cloretos são menores que da amostra FBA, variando de 790,5 a 54,38 mg/L, com valor mínimo aceitável por ambas as normas que exigem 250 mg/L. Por fim em comparações com a amostra anterior não obteve melhoras quanto aos sulfatos.

Em resumo, os resultados para amostra de WBA atendem aos padrões de cloretos e condutividade para todas as normas citadas, porém os níveis de sulfatos seguem o mesmo padrão da amostra 100% FBA, e por fim os níveis de pH se aproximam dos exigidos para consumo humano, mas continua sem atender o máximo permitido.

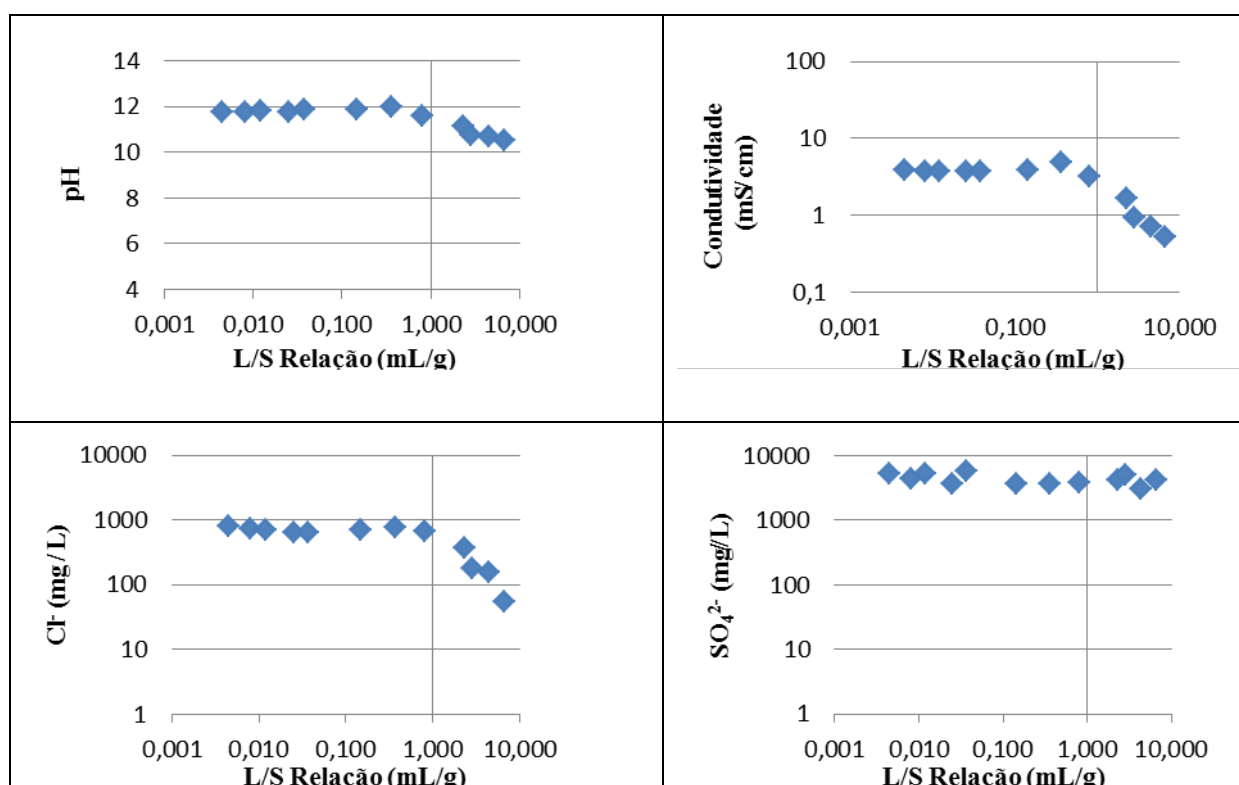


Figura 4: pH, condutividade, cloretos e sulfatos da amostra de WBA.

ARGAMASSA COM CINZAS VOLANTES (CIMENTO + FLY ASH)

Os valores ilustrados na Figura 5 são da amostra de argamassa feita com uma porcentagem das cinzas volantes do incinerador (80% argamassa e 20% *fly ash*). De acordo com a teoria, as cinzas volantes possuem mais

agentes poluidores ou metais pesados que as cinzas de fundo, portanto os valores tendem a ser menos satisfatórios que os anteriores. Diferente das análises anteriores, os valores de pH aumentaram, ainda que ligeiramente, na proporção em que a água passava pela amostra, sendo o pH inicial 12,26 e o pH final 12,59, portanto, não aceitáveis do decreto Espanhol (9,5) e da Resolução CONAMA 396/2008 que classifica água com pH até 9,0. A condutividade variou de 75300 a 11600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, muito acima do exigido pelos padrões da Catalunha para lixiviados (6000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Os níveis de sulfatos se assemelham aos outros experimentos com uma média pouco maior (4685 mg/L). Quanto aos cloretos, ocorreu uma melhora ao passar do líquido pela amostra, mas não foi suficiente para atingir os níveis aceitáveis pelas leis de ambos os países.

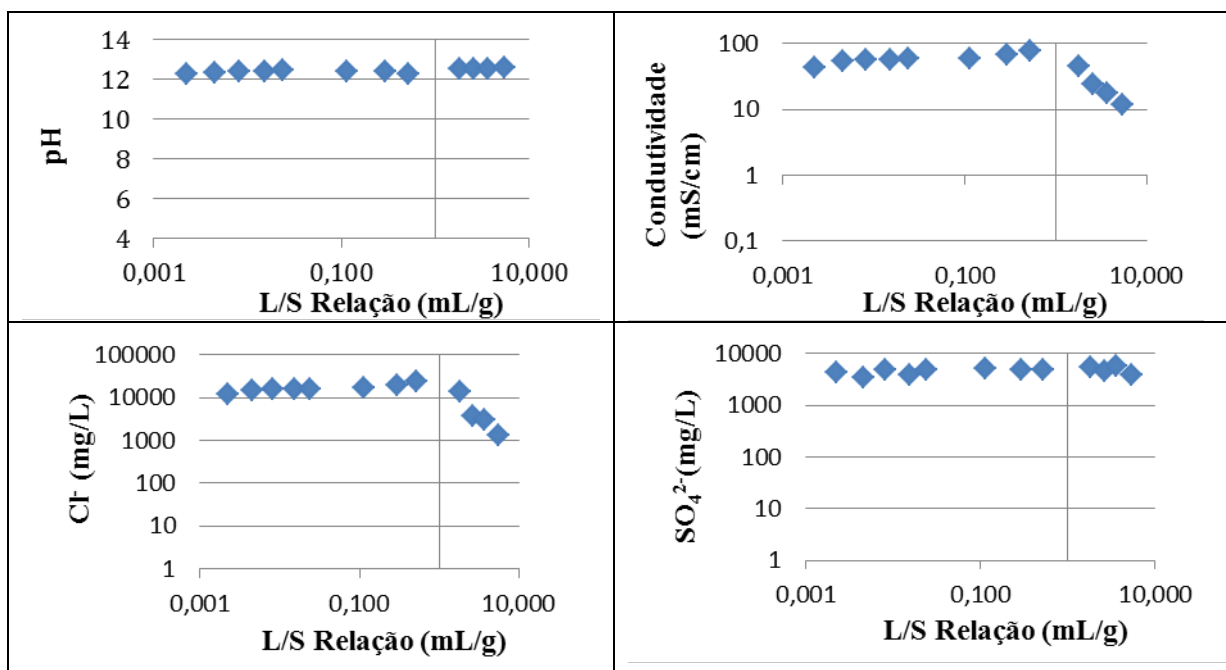


Figura 5: pH, condutividade, cloretos e sulfatos da amostra de argamassa mais cinzas volantes.

CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos quanto às amostras de FBA, WBA e argamassa com Fly Ash, os ensaios em coluna indicaram que a condutividade elétrica do lixiviado após 72 horas atendem à norma da Catalunha.

Quanto aos cloretos, apenas as amostras FBA e WBA indicam que os resíduos podem ser utilizados na pavimentação e assemelhados, sem comprometer os recursos hídricos, já que as concentrações atendem aos padrões de potabilidade e outros usos da água, segundo as legislações brasileira e espanhola.

É nítido que, com o decorrer do tempo, o pH tende a diminuir. Como esse estudo foi feito para 72 horas, e com base em estudos com tempos maiores de lixiviação, é possível que os níveis de pH atinjam valores aceitáveis. Nesse estudo foram utilizadas amostras com 100% de resíduos e amostras com um percentual de resíduos (20%) mais argamassa (80%). Outros percentuais podem ser testados, já que o intuito da pesquisa é saber se as amostras servem de matéria-prima para construções de estradas e assemelhados.

Recomenda-se a investigação de outros contaminantes que podem ser liberados por esse tipo de resíduo, como os metais pesados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Professor Dr. Josep Ma. Chimenos Ribera, Centro: DIOPMA, Departamento: Ciência dos Materiais e Engenharia Metalúrgica. Faculdade de Química da Universidade de Barcelona.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/>>, Acesso em 20.05.2014.
2. BRASIL (2002). Resolução COMANA nº 316 de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. Conselho Nacional de Meio Ambiente. 2002.
3. BRASIL (2011). Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.
4. Departament de Medi Ambient de Catalunya. ORDRE de 15 de febrer de 1996, sobre valorizació d'escòries. Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya n. 2181 de 13.03.1996.
5. ESPANHA (2003). Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. (BOE 45 del 21/02/2003).
6. FREYSSINET, P.; PIANTONE, P.; AZAROUAL, M.; ITARD, Y.; LELOUP-CLOZEL, B; GUYONNET, D.; BAUBRON, J.C. Chemical changes leachate mass balance of municipal solid waste bottom ash submitted to weathering. Waste Management, 2002.
7. Instituto de Estatística da Catalunha – INDESCAT. Disponível em <<http://www.indescat.org/?lang=en>>, Acesso em 20.05.2014.
8. MEZA, S.; KALBE, U.; BERGER, W.; SIMON, F-G. Effect of contact time on the release of contaminants from granular waste materials during column leaching experiments. Waste Management, 565-571p, 24 de Novembro 2009.
9. Servei d'Incineració de Residus Urbans – SIRUSA. Disponível em <<http://www.sirusa.es/>>, Acesso em 20.05.2014.
10. VALLE-ZERMEÑO, R.; FORMOSA, J.; CHIMENOS, J. M.; MARTÍNEZ; FERNÁNDEZ. Aggregate material formulated with MSWI bottom ash and APC fly ash for use as secondary building material. Waste Management, 621-627p. 2012.