

## AVALIAÇÃO DO USO DE POLI(TEREFTALATO DE ETILENO) (PET) COMO MATRIZ DE IMOBILIZAÇÃO DE CINZAS DE INCINERADORES

Flávia Gonçalves Pacheco, Stela Dalva Santos Cota\*, Tânia Valéria da Silva e Murillo Senne Jr.

Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – Comissão Nacional de Energia Nuclear, CP 941, 30161-970 Belo Horizonte - MG, Brasil

Recebido em 22/9/08; aceito em 20/5/09; publicado na web em 20/10/09

ASSESSMENT OF THE USE OF POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) AS MATRIX FOR IMMOBILIZATION OF INCINERATOR ASH. Industrial hazardous wastes must receive appropriate treatment to ensure a safe disposal to humans and environment. One of the techniques adopted for this purpose is the stabilization/solidification in polymer matrices. This paper evaluated the use of recycled polyethylene terephthalate as an incorporation matrix of incinerator ash. The polymer and the ash were submitted to an extrusion process in different percentages. The final product was evaluated through thermal and leaching tests and the leachate extracts constituents were determined by atomic absorption spectrophotometry. The results showed a reduction in the release of substances up to 99% by mass for the conditions used.

Keywords: PET; immobilization; incinerator ash.

### INTRODUÇÃO

A disposição de rejeitos perigosos industriais apresenta-se como um assunto de grande importância dentro do contexto atual devido à geração de milhares de toneladas diárias dos mesmos no mundo. Esses rejeitos compreendem escórias, areias de fundição, cinzas, borras de petróleo e lodos de estações de tratamento de efluentes (ETE), dentre outros, e devem receber um tratamento adequado e uma disposição segura de forma a minimizar os riscos de contaminação à saúde humana e ao meio ambiente.

Um dos tratamentos adotados para tal fim é a incineração, que consiste no processo de decomposição térmica do material com sua consequente transformação em gases e particulados (cinzas e escórias).<sup>1,2</sup> Esse método apresenta as vantagens de uma alta redução do rejeito (em peso e em volume) e de uma possível recuperação da energia liberada em sua queima. No entanto, o resíduo da incineração proveniente da queima do material pode ser tóxico por apresentar em sua composição substâncias perigosas como dioxinas, furanos e produtos de combustão incompleta em concentrações maiores do que aquelas estabelecidas em normas. Dessa forma, os filtros e outros produtos de técnicas de tratamento utilizados para a purificação dos efluentes gasosos gerados e as cinzas devem ser dispostos em aterros ou submetidos a um outro tipo de tratamento, tal como a estabilização/solidificação.

A técnica de estabilização/solidificação consiste na mistura de uma matriz inerte com determinado rejeito perigoso visando a imobilização de seus constituintes tóxicos. Nesse processo, as substâncias a serem imobilizadas sofrem uma transformação física e/ou química adquirindo formas finais menos solúveis e tóxicas.<sup>3</sup> Duas das matrizes comumente adotadas nesse tratamento são o cimento e o betume. Embora mais tradicionalmente utilizadas, essas matrizes apresentam uso limitado devido às suas incompatibilidades químicas com alguns tipos de rejeitos podendo gerar produtos finais de baixa qualidade. Esse fator, aliado à alta quantidade e variedade de rejeitos gerados em áreas contaminadas, levou o Departamento de Energia dos Estados Unidos (U.S.DOE) a realizar uma busca por novas matrizes de incorporação. Pesquisas com esse propósito tiveram início na década de 80, com estudos realizados no *Brookhaven National Laboratory* (BNL).<sup>4</sup>

Os trabalhos desenvolvidos<sup>4</sup> envolveram a extrusão de rejeitos com matrizes de polietileno de alta e baixa densidade. O processamento dessas matrizes independe da ocorrência de reações químicas, viabilizando, desta forma, o uso das mesmas em uma maior variedade de rejeitos. Os resultados obtidos demonstraram uma alta resistência dos produtos finais a diversos agentes químicos e solventes, assim como uma solidificação do produto final garantida pelo resfriamento do polímero. Algumas desvantagens desta técnica de tratamento foram apontadas, tais como limitações nas características físicas do polímero e do rejeito, presença de umidade e de substâncias voláteis devido à baixa capacidade do equipamento de eliminar gases.<sup>4</sup>

O sucesso do uso das matrizes de polietileno aliado às suas vantagens motivaram a busca por matrizes de polímeros de estrutura mais complexa, visando promover a diversificação dos tipos de polímeros passíveis de serem empregados para esse fim e verificar a possibilidade de conferir maior resistência físico-química aos produtos gerados. Dentro deste contexto, este trabalho avaliou a aplicabilidade do uso de poli(tereftalato de etileno) (PET) reciclado como matriz para incorporação de cinza de incinerador proveniente de serviço de saúde, por meio do processo de extrusão. A forma reciclada pós-consumo foi utilizada visando o melhor reaproveitamento deste material, disponível em grandes volumes, além do baixo custo associado à sua aquisição.

Os materiais a serem processados foram caracterizados mediante as técnicas TGA e DTA, de forma a avaliar a aplicabilidade desses materiais ao processo e definir os parâmetros de extrusão a serem utilizados. A qualidade do produto em relação ao grau de liberação dos constituintes perigosos para o meio ambiente foi avaliada por meio de um ensaio de lixiviação, segundo norma ABNT NBR 10005.<sup>5</sup> Os resultados indicaram redução do teor de magnésio, manganês e zinco nos extratos lixiviados dos produtos quando comparado às cinzas. Todos os ensaios e equipamentos utilizados neste estudo foram realizados nas instalações do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN.

### PARTE EXPERIMENTAL

Neste trabalho foi utilizado PET reciclado, pós-consumo, em flocos de cor predominante azul. Inicialmente foi realizado um

\*e-mail: sdsc@cdtn.br

procedimento para determinação das condições necessárias para a recristalização do polímero. A recristalização, processo que envolve o aquecimento de um composto seguido de um resfriamento lento para que se aumente o tamanho dos cristais e, conseqüentemente, seu grau de cristalinidade, é necessária a fim de evitar a aderência do polímero na rosca da extrusora; o que ocorre quando o material é utilizado em seu estado amorfo.<sup>6</sup> A determinação do tempo necessário para a ocorrência da recristalização foi realizada através do aquecimento do PET em estufa a 160 °C por um período de 2, 4 e 24 h. Posteriormente, o polímero foi caracterizado por meio de análises termodiferenciais (DTA) em seu estado amorfo e após ser recristalizado.

As cinzas de incineradores empregadas são provenientes de uma empresa de tratamento de resíduos do serviço de saúde. Amostras de resíduo de mesma origem, coletadas na mesma ocasião, foram caracterizadas em um estudo anterior<sup>7</sup> por fluorescência de raios X e, no trabalho atual, por meio de análises termogravimétricas (TGA) e do ensaio de lixiviação segundo a norma ABNT NBR 10005:2004.<sup>5</sup> Ressalta-se que o resíduo foi previamente homogeneizado antes da retirada das amostras para as análises, de modo a se obter amostras representativas.

Antes de ser processado na extrusora, o PET foi peneirado para a remoção da fração de partículas maior que 0,25 mesh (6,35 mm) e recristalizado em estufa à temperatura de 110 °C por 4 h, condições ótimas encontradas para a recristalização. Tendo-se em vista o pequeno porte do equipamento de extrusão utilizado nesse estudo, o peneiramento foi necessário para facilitar o processo de alimentação da mistura na extrusora e evitar o bloqueio do canal de alimentação por partículas maiores.

Após seu resfriamento em condição ambiente, o polímero foi misturado com rejeito, nas percentagens de 10 e 30% em massa, e óleo mineral (na percentagem de 1% em massa) em um saco fechado sob agitação, formando porções de 500 g de material. O óleo mineral (parafina líquida) foi utilizado com a finalidade de aumentar a adesão entre o pó e o polímero, facilitando a alimentação da mistura no equipamento.<sup>8</sup>

As misturas de rejeito com PET foram submetidas ao processo de extrusão em uma extrusora de laboratório de rosca simples de 35 mm, com razão comprimento/diâmetro (L/D) equivalente a 32 e cinco zonas de aquecimento. Foram utilizadas uma rotação da rosca de 65 rpm e o perfil de temperatura apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Perfil de temperatura adotado na extrusora

| Zona 1<br>(°C) | Zona 2<br>(°C) | Zona 3<br>(°C) | Zona 4<br>(°C) | Cabeçote<br>(°C) |
|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| 235            | 240            | 250            | 260            | 260              |

Os produtos resultantes da extrusão foram resfriados por contato direto com água de torneira. Para se verificar a possibilidade de contaminação da água durante o resfriamento, amostras da água de resfriamento, antes e após o contato com o produto extrudado com rejeito na percentagem de 30%, foram coletadas e enviadas para análise de metais por fluorescência de raios X. Para se obter uma base para comparação, polímero puro foi processado por extrusão seguindo-se as mesmas condições de processamento e resfriamento.

Todos os produtos extrudados foram submetidos ao ensaio de lixiviação, segundo a norma ABNT NBR 10005:2004.<sup>5</sup> Com o objetivo de se cumprir a exigência desta norma quanto ao tamanho das partículas a serem lixiviadas, foi realizada a cominuição prévia dos materiais extrudados em um moinho de martelos até atingir dimensões menores que 9 mm.

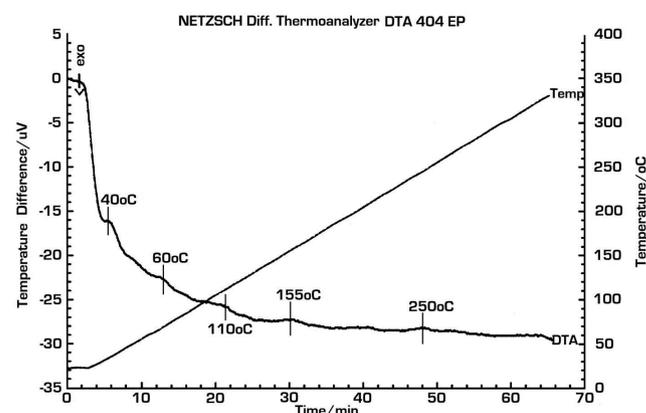
Antes do ensaio de lixiviação foi realizado um teste preliminar para a determinação do tipo de solução de extração a ser utilizada. Se o pH da solução resultante do teste preliminar for inferior a 5, a

norma orienta o uso de uma solução de extração de pH  $4,93 \pm 0,05$ , sintetizada a partir de uma mistura de ácido acético glacial, hidróxido de sódio e água (solução de extração nº1).<sup>5</sup> Caso contrário, uma solução de pH  $2,88 \pm 0,05$ , composta por ácido acético glacial e água deve ser utilizada (solução de extração nº2).<sup>5</sup>

Os ensaios de lixiviação foram realizados em duplicata. O procedimento consiste na mistura de uma massa de 50 g de material sólido com uma massa 20 vezes superior da solução de extração adequada, determinada a partir dos resultados do teste preliminar. A mistura obtida é agitada em um agitador rotatório, a 30 rpm por 18 h, e filtrada a vácuo em um filtro de porosidade 0,7 mm. Alíquotas de aproximadamente 50 mL dos extratos lixiviados foram coletadas e enviadas para análise por espectrofotometria de absorção atômica para determinação de chumbo, cobre, cromo, zinco, magnésio e manganês. Nos casos em que o limite de detecção deste método foi atingido, a amostra foi analisada novamente com o método de espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP/AES).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização do PET apresentou uma curva DTA com alguns picos endotérmicos nas temperaturas de 40, 60, 110, 155 e 250 °C para o ensaio sem a recristalização do polímero, como mostrado na Figura 1. A literatura apresenta a temperatura de 250 °C como corresponde à fusão do polímero,<sup>9</sup> sendo o pico encontrado nessa temperatura um indicativo desse processo. Os outros picos observados correspondem possivelmente à perda de moléculas de água absorvidas pelo polímero, tendo-se em vista sua propriedade de absorver umidade,<sup>10</sup> e a liberação de seus produtos de degradação, já que o PET apresenta alta suscetibilidade à degradação hidrolítica na presença de umidade<sup>11</sup> e é bastante sensível ao calor e à oxidação.<sup>12</sup>



**Figura 1.** Curva DTA obtida para o PET

As curvas DTA obtidas para o polímero seco por 2, 4 e 24 h a 160 °C foram bastante semelhantes entre si. A curva para 4 h de secagem pode ser visualizada na Figura 2. As curvas indicaram a remoção dos picos anteriormente observados, apresentando apenas um pico endotérmico à temperatura de aproximadamente 250 °C, como esperado. Apesar das curvas para o polímero seco se apresentarem bastante semelhantes, a literatura recomenda um tempo mínimo de secagem de PET de 4 h,<sup>13</sup> sendo esse o tempo selecionado para uso no processo. A secagem se faz necessária para evitar a formação de vapor d'água no interior do equipamento, a qual poderia levar a problemas durante o processamento do polímero na extrusora. O PET recristalizado a 160 °C apresentou uma coloração escura, o que levou à decisão de reduzir a temperatura para 110 °C, segundo recomendação da literatura.<sup>11</sup>

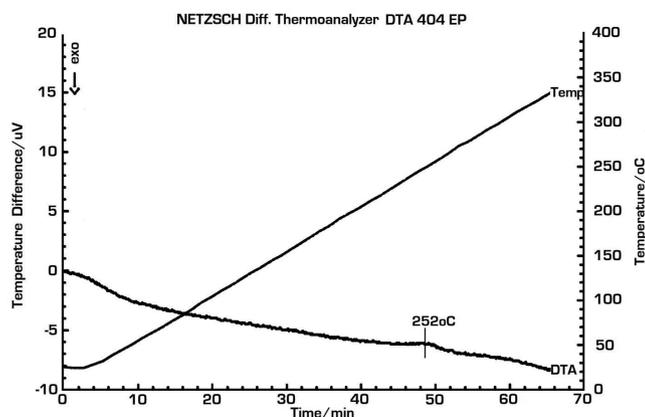


Figura 2. Curva DTA obtida para o PET recristalizado a 160 °C por 4 h

A caracterização das cinzas realizada em um estudo anterior<sup>7</sup> mostra uma composição baseada em metais pesados, tais como zinco, cobre, chumbo e níquel, e teor de umidade de 3,4% em massa. A composição do rejeito pode ser visualizada na Tabela 2. Segundo Silva,<sup>7</sup> as cinzas apresentam distribuição granulométrica relativamente linear entre os diâmetros de 0,1 e 1,1 mm, sendo que apenas 4,33% das partículas apresentaram diâmetro menor que 0,075 mm. Quando lixiviado, esse rejeito libera teores de zinco e manganês superiores aos limites permitidos<sup>14</sup> de 5,0 e 1,0 mg/L, respectivamente, o que o classifica como um resíduo perigoso.

Tabela 2. Composição química do rejeito (ppm)<sup>7</sup>

| Elemento | Composição | Elemento | Composição |
|----------|------------|----------|------------|
| Mg       | 11000      | Cr       | 60         |
| S        | 16500      | Fe       | 310        |
| C        | 171200     | Mn       | 1330       |
| Cl       | 90000      | Ni       | 50         |
| Na       | 35700      | Zn       | 7940       |
| K        | 3080       | Pb       | 180        |
| Cu       | 1460       | Ca       | 34000      |

As curvas TGA e DTGA das cinzas podem ser visualizadas na Figura 3. Essas curvas indicam uma perda mássica de 1,6 e 9,9% quando o rejeito é aquecido às temperaturas de 135,5 e 357,3 °C. Perdas mássicas de aproximadamente 5 e 9% são obtidas quando o rejeito é aquecido à 260 °C (temperatura máxima de aquecimento utilizada na extrusora) e 300 °C, respectivamente. Apesar de pequenas, essas perdas mássicas podem gerar produção de vapor durante o processo.

Durante os ensaios de extrusão com o rejeito foram observadas liberação de gás juntamente com o produto extrudado e uma saída intermitente do produto final apesar da alimentação contínua da mistura de PET, óleo e rejeito na extrusora. A liberação de gás pode ser atribuída a uma possível degradação do polímero, tanto térmica quanto oxidativa, gerando perda de massa com consequente formação e liberação de gás. A saída intermitente de produto deve-se possivelmente à formação de gás no interior da extrusora.

Os produtos extrudados apresentaram, aparentemente, uma boa homogeneidade. Uma representação dos produtos obtidos no ensaio com rejeito na percentagem de 30% pode ser visualizada na Figura 4.

Os testes preliminares dos ensaios de lixiviação indicaram o uso da solução de extração n.º 1 para o polímero puro e para os compostos de PET com rejeito e da solução de extração n.º 2 para as cinzas.

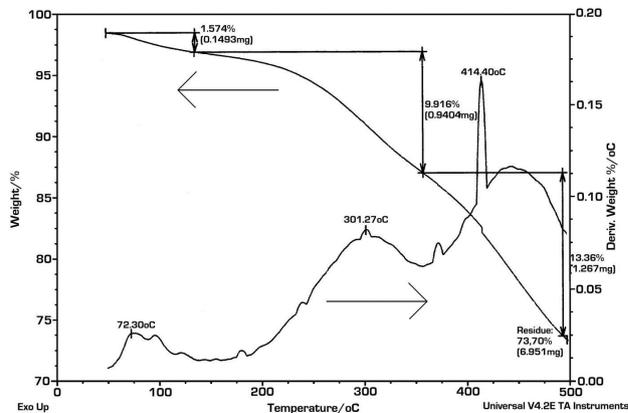


Figura 3. Curvas TGA e DTGA obtidas para a cinza de incinerador

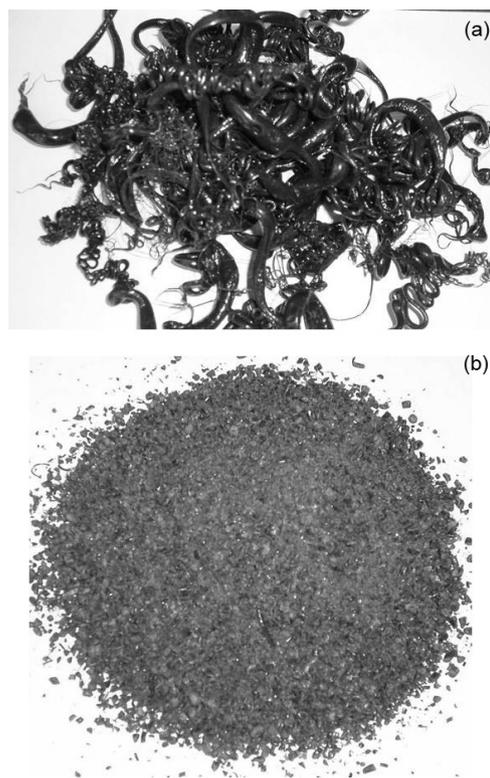


Figura 4. Amostras obtidas a partir da incorporação de cinzas na percentagem de 30% em PET: a) após saída da extrusora e resfriamento; b) após cominuição para o ensaio de lixiviação

A Tabela 3 apresenta os teores de metais obtidos no extrato lixiviado para as cinzas, em comparação com os dados obtidos da literatura para um ensaio de lixiviação realizado anteriormente.<sup>7</sup> A Tabela 3, bem como as tabelas seguintes, apresenta valores de comparação para avaliar a periculosidade dos extratos. Esses limites foram tomados com base no anexo F da norma ABNT NBR 10004:2004<sup>15</sup> e, quando não disponível nessa norma, na Resolução 357/05 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) para o lançamento de efluentes.<sup>14</sup> O limite para o magnésio em efluentes não foi encontrado em nenhuma norma ou resolução. No entanto, seu limite em água potável é estabelecido pela OMS (Organização Mundial de Saúde) como 1.000 mg/L,<sup>16</sup> podendo ser utilizado para efeito de comparação.

Verifica-se, pelos dados da Tabela 3, que os teores de metais determinados no extrato lixiviado das cinzas são mais elevados do que os valores de literatura (com exceção do manganês), porém, dentro

da mesma ordem de grandeza. As diferenças nos valores podem ser atribuídas a problemas na coleta de amostras e/ou a problemas intrínsecos aos métodos analíticos utilizados, tendo-se em vista que foram utilizadas amostras do mesmo resíduo. Observa-se que o zinco e o manganês apresentaram um teor no extrato lixiviado superior aos valores de referência, resultado semelhante ao da literatura.

A Tabela 4 mostra o resultado das análises de metais realizados nas águas de resfriamento coletadas antes e após o contato com o produto extrudado com rejeito na percentagem de 30% (Água1 e Água2, respectivamente). Os dados indicam uma possível liberação de zinco do produto extrudado para a água de resfriamento, com o aumento da concentração de 0,05 para 0,2 mg/L. Entretanto, a liberação detectada encontra-se abaixo do limite estabelecido pela legislação,<sup>14</sup> havendo, inclusive, a possibilidade de despejo direto em curso d'água, dependendo da autorização de órgãos competentes após análise.

A Tabela 5 apresenta os valores dos teores de metais e pH obtidos nas análises dos extratos lixiviados dos produtos de incorporação de polímero com rejeito (PET10 e PET30) e do polímero puro (PET). Como os ensaios de lixiviação foram realizados em duplicata, os valores desta tabela referem-se à média dos valores obtidos. Os códigos das amostras PET10 e PET30 referem-se às amostras de extrato lixiviado obtidas para o polímero incorporado com rejeito nas percentagens de 10 e 30%, respectivamente.

A presença de teores acima do limite de detecção dos métodos analíticos utilizados para cobre, chumbo e zinco nos extratos lixiviados do PET reciclado puro pode ser atribuída à presença de impurezas no polímero reciclado utilizado (pós-consumo), a uma possível contaminação da amostra durante o processo de extrusão e de moagem e/ou às limitações do método analítico e do equipamento utilizados.

Os resultados das análises indicaram uma redução do teor de magnésio, manganês e zinco nos extratos lixiviados dos produtos incorporados quando comparados ao extrato das cinzas. No caso da liberação de zinco, por exemplo, sua concentração passou de 35 mg/L no extrato lixiviado das cinzas para 0,58 e 1,35 mg/L nos extratos lixiviados de PET10 e PET30, respectivamente, representando uma redução de até 98,3%. As liberações de manganês e magnésio resultaram em uma redução de até 98,8 e 99,2%, respectivamente. Esses resultados demonstram que o processo de incorporação das cinzas em PET reciclado é eficiente como tratamento para resíduos perigosos.

As determinações de cobre nos produtos incorporados mostram um comportamento semelhante ao do magnésio, manganês e zinco, sendo obtida uma redução de sua liberação de até 80%. No entanto, tendo em vista a alta concentração desse elemento obtida no extrato do polímero puro reciclado, a eficiência do processo para este elemento não é conclusiva e maiores investigações devem ser realizadas para confirmar esse resultado.

A maior parte das determinações de chumbo e a totalidade das determinações de cromo se apresentaram abaixo do limite de detecção do método analítico, não sendo possível avaliar as características de liberação dessa substância nos diferentes extratos lixiviados.

As concentrações finais de zinco e manganês obtidas nos extratos lixiviados após o tratamento de incorporação das cinzas em PET reciclado encontram-se todas abaixo do limite brasileiro com base na Resolução 357/05 do CONAMA. Assim, pode-se afirmar que, como resultado do tratamento realizado, as cinzas perderam sua característica de rejeito perigoso quando adicionadas na percentagem de até 30% em massa.

Para garantir que a disposição dos produtos finais em um aterro sanitário Classe IIA seja segura, é ainda aconselhável que a validade dos resultados encontrados seja verificada através de um teste de enve-

**Tabela 3.** Teores de metais e pH medidos no extrato lixiviado das cinzas e valores de literatura (valores em mg/L)

| Amostra                 | Cu        | Cr     | Mg     | Mn      | Pb        | Zn    | pH   |
|-------------------------|-----------|--------|--------|---------|-----------|-------|------|
| Cinza                   | 0,51±0,05 | < 0,05 | 285±30 | 8,5±0,8 | 0,30±0,03 | 35±4  | 7,14 |
| Literatura <sup>7</sup> | 0,22      | <0,01  | 186,7  | 36,48   | <0,10     | 19,93 | 6,97 |
| Referência              | 1,0*      | 5,0**  | ---    | 1,0*    | 1,0**     | 5,0*  | ---  |

\*Resolução 357 de 17 de março de 2005 do CONAMA – Das condições e padrões de lançamento de efluentes. \*\*ABNT NBR 10004:2004 - Resíduos sólidos – Classificação.

**Tabela 4.** Teores de metais nas águas de resfriamento (valores em mg/L)

| Amostra    | Cu     | Cr     | Mg      | Mn     | Pb        | Zn        |
|------------|--------|--------|---------|--------|-----------|-----------|
| Água1      | < 0,05 | < 0,05 | 2,5±0,3 | < 0,05 | < 0,10    | < 0,05    |
| Água2      | < 0,05 | < 0,05 | 2,6±0,3 | < 0,05 | 0,11±0,01 | 0,20±0,02 |
| Referência | 1,0*   | 5,0**  | ---     | 1,0*   | 1,0**     | 5,0*      |

\*Resolução 357 de 17 de março de 2005 do CONAMA – Das condições e padrões de lançamento de efluentes. \*\*ABNT NBR 10004:2004 - Resíduos sólidos – Classificação.

**Tabela 5.** Teores de metais e pH medidos nos extratos lixiviados (valores em mg/L)

| Amostra    | Cu        | Cr    | Mg        | Mn          | Pb        | Zn        | pH   |
|------------|-----------|-------|-----------|-------------|-----------|-----------|------|
| PET        | 0,54±0,05 | <0,05 | 0,13±0,01 | 0,052±0,005 | 0,25±0,02 | 0,30±0,03 | 4,86 |
| PET10      | 0,10±0,01 | <0,05 | 2,0±0,2   | 0,11±0,01   | 0,20±0,02 | 0,58±0,06 | 4,87 |
| PET30      | 0,17±0,02 | <0,05 | 5,2±0,5   | 0,21±0,02   | 0,34±0,03 | 1,2±0,1   | 4,92 |
| Referência | 1,0*      | 5,0** | ---       | 1,0*        | 1,0**     | 5,0*      | ---  |

\*Resolução 357 de 17 de março de 2005 do CONAMA – Das condições e padrões de lançamento de efluentes. \*\*ABNT NBR 10004:2004 - Resíduos sólidos – Classificação.

lhecimento. Assim, pode-se avaliar a evolução das taxas de lixiviação do produto com o tempo, tendo em vista as condições físico-químicas (temperatura, pH, etc) a que o produto polimérico estará exposto nesse ambiente. Outra opção a ser avaliada seria a utilização do material extrudado na confecção de produtos, possibilitando sua reutilização para aplicação em diversas áreas, tais como na pavimentação.<sup>17</sup>

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos forneceram indícios da aplicabilidade do uso de matrizes de poli(tereftalato de etileno) (PET) reciclado na imobilização via extrusão de rejeitos perigosos. Para as cinzas de incineradores utilizadas, foram constatadas reduções superiores a 95% do teor de manganês, magnésio e zinco nos extratos lixiviados dos produtos incorporados quando comparados ao extrato do rejeito nas condições de operação especificadas. Esse valor demonstra a eficiência significativa do tratamento na redução da periculosidade desse resíduo para os elementos avaliados. A eficiência do tratamento deve também ser avaliada para outros tipos de resíduos perigosos e outras classes de elementos.

Foi também verificado que o emprego da matriz de PET no processo de imobilização apresentou problemas de processamento relacionados com a saída intermitente do produto final e a produção de produtos gasosos. Essas questões parecem estar relacionadas à presença de umidade e de compostos voláteis e/ou a reações de degradação do polímero ou do resíduo. Melhores condições operacionais podem ser obtidas com um sistema de degasagem na extrusora e com melhorias da etapa de alimentação da mesma.

## AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG, ao Departamento de Engenharia Sanitária (DESA) da UFMG, ao Laboratório de Análise Térmica (EC2/CDTN), ao Serviço de Tecnologia Mineral (EC4/CDTN) e ao Laboratório de Espectrometria de Energia e Fluorescência de Raios X (TR2/CDTN).

## REFERÊNCIAS

1. <http://www.epa.gov/appcdwww/aptb/hazwaste.htm>, acessada em Outubro 2009.
2. Committee on Health Effects of Waste Incineration, Board on Environmental Studies and Toxicology, National Research Council; Waste Incineration and Public Health; National Academy Press: Washington, 2000.
3. Rocca, A. C. C.; *Resíduos Sólidos Industriais*, 2ª ed., CETESB: São Paulo, 1993.
4. USEPA - United States Environmental Protection Agency; *Stabilization/Solidification. Innovative Site Remediation Technology: Design and Application*, 1997, vol. 4.
5. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas; *Procedimento para a obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos*, NBR-10005, 2004.
6. Wiebeck, H.; Harada J.; *Plásticos de Engenharia*, Artliber Editora: São Paulo, 2005.
7. Silva, M. L.; *Tese de Mestrado*, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, 2006.
8. Cota, S.; Oliveira, T. V. S.; Senne Jr., M.; Pacheco, G.; Albuquerque, M.; *Prog. Nucl. Energy* **2009**, 51, 236.
9. Brandrup, J.; Immergut, E. H.; Grulke, E. A.; *Polymer Handbook*, 4ª ed., John Wiley & Sons: New York, 1999.
10. Piva, A. M.; Wiebeck, H.; *Reciclagem do Plástico*, Artliber Editora: São Paulo, 2004.
11. Ávila, A. F.; Duarte, M. D.; *Polym. Degrad. Stab.* **2003**, 80, 373.
12. Villain, F.; Coudane, J.; Vert, M.; *Polym. Degrad. Stab.* **1995**, 49, 393.
13. <http://www.ril.com/cmshtml/drying.pdf>, acessada em Janeiro 2009.
14. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente; *Resolução N°357*, 17/3/2005.
15. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas; *Resíduos Sólidos – Classificação*, NBR-10004, 2004.
16. Ferreira, E. S.; *Resumos do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Porto Alegre, Brasil, 2000.
17. Martins, M. A.; Araújo, H. N.; Pellizzaro, M.; *Anais do XIX ENEGEP-VICIE*, Rio de Janeiro, Brasil, 1999.