



ESTUDO DAS PROPRIEDADE FÍSICAS DE ESCÓRIAS ALUMINOTÉRMICAS DE FERRO LIGAS PARA A RECUPERAÇÃO DE URÂNIO E TÓRIO

Vanderlei Vilaça de Moura, Claúbia Pereira

Departamento de Engenharia Nuclear - Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos, 6627, campus UFMG, CEP 31.270-901, Belo Horizonte, MG Tel/fax: 55-31-
34096662
vandermoura@gmail.com, claubia@nuclear.ufmg.br

Palavras-Chave: urânio, tório, escória

RESUMO

Os minerais NORM geram, após o processamento metalúrgico, escórias radioativas que são passíveis de controle pela CNEN. Deste modo, é necessário estabelecer uma rota de reprocessamento para tornar o material isento. A rota passa, necessariamente, pela caracterização da escória a partir de suas propriedades físicas. Neste artigo são apresentados os resultados da variação das concentrações dos óxidos de U e de Th com as propriedades elétrica, magnética, densidade e tamanho da escória. Observou-se que o processamento metalúrgico produz como resíduo uma escória com ligações a nível molecular entre os óxidos que a constituem. Deste modo, a separação dos óxidos só será possível com a lixiviação da escória.

1. INTRODUÇÃO

Existem minerais que além do elemento de interesse carregam consigo isótopos de urânio e tório. Este tipo de material constitui o que a literatura denomina de material radioativo de ocorrência natural ou NORM (*naturally occurring radioactive materials*). Um exemplo desse tipo de material são os minérios passíveis de anuência da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Entre eles destaca-se a columbita/tantalita (concentrado de nióbio e tântalo) [1].

A columbita/tantalita, em geral, é processada por fornos de redução e de aluminotermia para a produção de ferro ligas de nióbio e de tântalo – que é um material isento de controle regulatório. Como resíduo, aparece uma escória onde concentram-se os óxidos de tório (ThO_2) e de urânio (U_3O_8) [2]. Esta é, em geral, disposta em pilhas, em trincheiras ou outros tipos de célula de armazenamento devendo ser armazenada em depósitos iniciais para posterior adaptação e/ou transferência para a União. Deste modo, a destinação deste resíduo demanda alto investimento no projeto, comissionamento, operação e transferência [3].

Neste artigo foram estudados o comportamento dos teores ou concentrações dos óxidos de urânio e de tório através de ensaios realizados em amostras de escória aluminotérmicas



de ferro ligas de nióbio e tântalo: separação elétrica, separação magnética, separação gravimétrica e estudos de granulometria. Seu objetivo inicial é a caracterização do material em função de propriedades físicas. Assim, como é a primeira parte de um projeto que visa a recuperação de urânio e tório, tem como finalidade auxiliar na definição de uma rota de processamento das escórias.

2. METODOLOGIA

A escória estudada é depositada em células de armazenamento das dependências da empresa tomada como estudo de caso. De tempos em tempos o material é espalhado para que não atinja uma altura que coloque a pilha em risco de colapso. Assim, não há deposição cronológica e a única informação disponível são os teores de óxidos de nióbio, de tântalo, de ferro, de estanho, de alumínio, de silício, de urânio e de tório obtidos pela empresa na produção das ligas [2].

Para a obtenção das amostras utilizadas neste estudo, foram retirados 130kg de escória em 25 pontos [4]. Não foi possível coletar abaixo da superfície devido a impossibilidade em realizar sondagens na pilha, conforme pode ser visualizado na Fig. 1A. Na Fig. 1B, segue o aspecto da escória antes de seu beneficiamento.



Fig. 10. Em A, aspecto da pilha de escória. Em B, aspecto da escória.

O material coletado foi cominuído com o uso de britadores de mandíbula e um moinho de bolas e, posteriormente, homegeinizado e quarteado para a produção de amostras representativas da pilha. Estas foram utilizadas na realização dos ensaios e para arquivamento [5]: uma alíquota de 3,0kg para a separação eletrostática; 2,6kg para a separação magnética; 14,0kg para a separação gravimétrica; 2,0 kg para os estudos de granuloquímica e o restante, aproximadamente, 100kg, foi arquivado para estudos/ensaios futuros.

2.1. Ensaios e análise química

A separação eletrostática baseia-se no princípio de eletrização da matéria e, portanto, consiste na concentração de minerais e/ou materiais através de suas propriedades elétricas



[6]. Assim a amostra de 3,0kg, foi submetida a um campo elétrico num separador/concentrador eletrostático, conforme a Fig. 2A. sendo obtidos os seguintes produtos: condutores, não-condutores e mistos (mistura de condutores e não condutores). O objetivo deste ensaio é verificar a concentração de U e Th em função das propriedades elétricas da escória.

A separação magnética baseia-se na diferente resposta dos minerais a um campo magnético externo [7] estabelecido por um separador/concentrador magnético, conforme a Fig. 2B. A amostra de 2,7kg foi submetida a este ensaio sendo obtidos os seguintes produtos: magnético, não-magnéticos e mistos (mistura de magnéticos e não-magnéticos). O objetivo deste ensaio é verificar a variação da concentração de U e Th em função das propriedades magnéticas da matéria.

A separação de mesa plana é um tipo de concentração gravimétrica, ou seja, é baseada na massa e/ou densidade das partículas que formam um mineral. Ela consiste, geralmente, num conjunto de mesas inclinadas e recobertas com uma superfície de borracha com sulcos em forma de “V” [8]. Na Fig. 2C apresenta-se o equipamento utilizado. Foram obtidos 3 produtos: concentrado (material de maior densidade e massa), finos (menor massa e menor densidade) e mistos. O objetivo deste ensaio é verificar a variação da concentração de U e Th em função da densidade das partículas de escória.

A separação em peneiras granulométricas é uma técnica de separação e classificação de minerais e/ou materiais segundo o tamanho geométrico das partículas [8]. Neste trabalho foi utilizado um conjunto de peneiras, conforme a Fig. 2D e a Fig. 2E, para a separação em 14 granulometrias (tamanhos) diferentes. O objetivo deste ensaio é a verificar a variação dos teores de U e Th em função da dimensão da escória.

Todas as amostras e produtos gerados foram analisados usando a técnica de fluorescência de raios-X (FRX) para a obtenção das concentrações dos óxidos de U e Th. A técnica de FRX baseia-se na análise do raio-X característico emitido por uma molécula após a interação desta com um raio-X incidente [9].



Fig. 11. Em A, Separador eletrostático utilizado. Em B, painel do separador magnético. Em C, mesa utilizada na separação gravimétrica. Em D e em E, peneiras usadas para a separação granulométrica.

3. RESULTADOS

No ensaio eletrostático verificou-se 63,5% da massa de escória comportou-se como condutora; 9,0% como misto e 27,6% como não-condutora. Assim, na Fig. 3A apresenta-se o gráfico da variação da concentração dos óxidos de U e Th com as propriedades elétricas da escória. Nele verifica-se, que não houve alteração significativa dos teores de U_3O_8 : redução de 2% para a parte que se comportou como condutora, redução de 4% para mistos e aumento de 5% para não-condutores em relação a cabeça calculada (média ponderada dos teores dos óxidos pela massa dos produtos). Para o ThO_2 o comportamento foi similar: redução de 1%, redução de 5% e aumento de 5% para os condutores, mistos e não condutores, respectivamente, em relação à cabeça calculada.

No ensaio magnético, 42,3% da massa comportou-se como magnético, 46,7% como não-magnético e 11% como mistos. Assim, a Fig. 3B apresenta a variação dos teores dos óxidos de U e de Th com as propriedades magnéticas da escória. Nele verifica-se que houve pequena variação na concentração do U_3O_8 : aumento de 5% para o magnético; aumento de 1% para o misto e redução de 2% para o não magnético em relação à cabeça calculada. Para o ThO_2 : aumento de 12% para o magnético; aumento de 2% para o misto e redução de 9% para o não magnético também em relação à cabeça calculada.

No ensaio gravimétrico 22,6% da massa inicial formou o concentrado; 12,9% o fino e 64,5% o misto. Assim, na Fig. 3C segue a variação dos teores dos óxidos de U e de Th com a densidade das partículas de escória. Nele observa-se que não houve variação significativa nas concentrações: redução de 3% para U_3O_8 e 2% para o ThO_2 no concentrado; aumento de 1% para ambos os óxidos nos mistos; aumento de 0,1% para o U_3O_8 e redução de 2% para o ThO_2 nos finos.

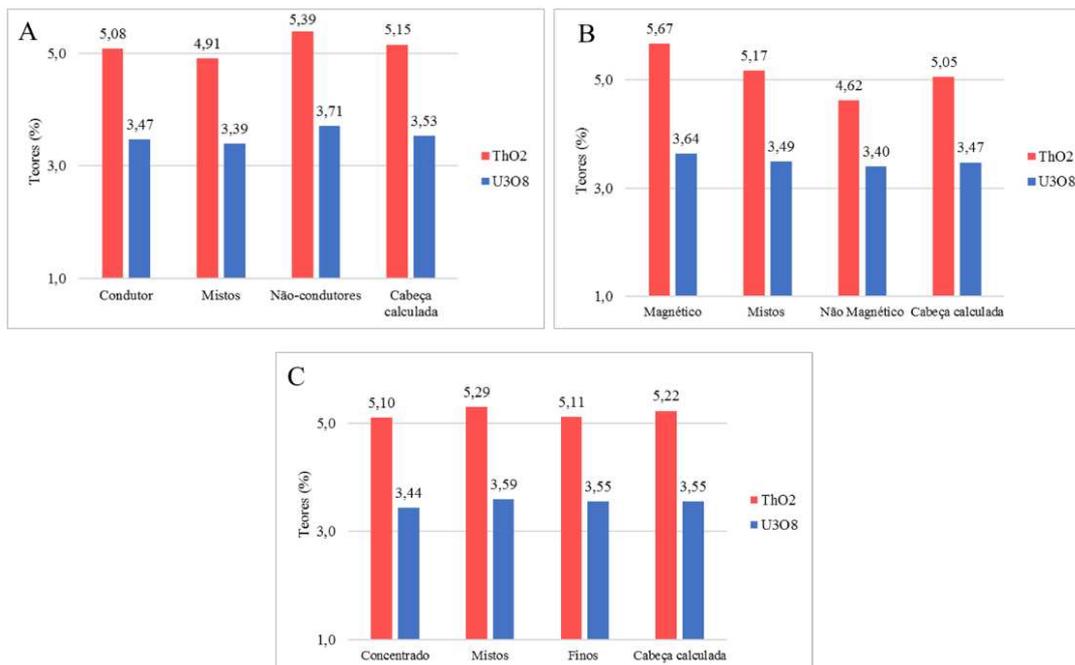


Fig. 12. Em A, variação da concentração dos óxidos de U e Th com as propriedades elétricas da escória. Em B, variação dos teores dos óxidos de U e de Th com as propriedades magnéticas da escória. Em C, variação dos teores dos óxidos de U e de Th com a densidade das partículas de escória.

No ensaio de peneiramento foram obtidas 14 granulometrias. Na Tab. 1 são apresentadas as granulometrias, as massas retidas em cada malha (peneira), as concentrações de U_3O_8 e ThO_2 para cada granulometria e a variação em relação à cabeça calculada. Observa-se um comportamento similar aos ensaios anteriores onde não houve variação significativa nos teores dos óxidos de U e de Th.

Tab. 5. Granulometrias obtidas no ensaio de peneiramento e respectivos teores de U_3O_8 e ThO_2

Abertura da malha (μm)	Massa retida (g)	% da massa total	U_3O_8 (%)	ThO_2 (%)	Varição $U_3O_8^*$ (%)	Varição ThO_2^* (%)
9500	198,3	9,5	3,66	5,23	0,04	0,03
6300	535,6	25,7	3,53	5,13	0,00	0,01
4000	358,4	17,2	3,43	4,88	-0,03	-0,04
3400	95,8	4,6	3,57	5,19	0,02	0,03
2000	180,8	8,7	3,55	5,17	0,01	0,02
1000	210,7	10,1	3,48	5,07	-0,01	0,00
600	111,9	5,4	3,31	4,71	-0,06	-0,07
425	60,1	2,9	3,48	5,03	-0,01	-0,01
300	48,8	2,3	3,44	4,95	-0,02	-0,02
212	62,2	3,0	3,49	4,99	-0,01	-0,01
180	45,5	2,2	3,54	5,03	0,01	-0,01



150	55,8	2,7	3,56	5,04	0,01	-0,01
75	46,6	2,2	3,60	5,11	0,02	0,01
<75	70,8	3,4	3,68	5,35	0,05	0,06
Cabeça calculada	2081,3	100,0	3,51	5,06	-	-

*variação em relação à cabeça calculada.

4. CONCLUSÃO

Com os ensaios realizados observou-se que a concentração dos óxidos de urânio e de tório permaneceram praticamente inalterados independentemente das propriedades elétrica, magnética, da densidade e das dimensões (gramatura) das partículas de escória. Isto ocorre, provavelmente, em decorrência do processo de produção das ferro ligas: o tratamento metalúrgico produz como resíduo uma escória com ligações a nível molecular entre os óxidos que a constituem. Em outras palavras, pode-se afirmar que procedimentos físicos não serão capazes de concentrar a escória em teores “alto” e “baixo” de urânio e/ou tório. Assim, será necessário avaliar uma etapa de lixiviação (ataque ácido) para a liberação do urânio e/ou do tório contidos.

5. TRABALHOS FUTUROS

Este artigo faz parte da etapa inicial de um projeto que tem como objetivo a recuperação de urânio e tório a partir de escórias de ferro ligas de nióbio e tântalo. Deste modo, estes ensaios mostraram que será necessário avaliar uma etapa de lixiviação para a liberação do urânio e/ou do tório.

Outro ponto observado, mas não registrado neste artigo, foi que a escória pode representar uma oportunidade de investimento, já que os teores de todos os metais de interesse da empresa (nióbio, tântalo e estanho) ocorrem em concentrações superiores ao encontrado na rocha [2]. Deste modo, a viabilização de um processo que o recupere os metais e os isente de urânio e tório pode auxiliar na transformação de um resíduo radioativo num “mix” de óxidos altamente valorizados pelo mercado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às Agências de Fomento, CNPq, CAPES e FAPEMIG, que direta ou indiretamente contribuem para o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Comissão Nacional de Energia Nuclear, “Procedimento para Anuência do Processo de Exportação,” [Online]. Available: <http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/drs/orientacoes/Controle-Exporta%C3%A7%C3%A3o-Mat%C3%A9rias-Primas.pdf>. [Acesso em 18 março 2018].
- [2] SAP - Systems, Applications and Products in Data Processing, SAP SE, Walldorf: SAP AG, 2017.



- [3] Comissão Nacional de Energia Nuclear, Resolução CNEN 012/02: Norma CNEN NN 6.09 Critérios de Aceitação para Deposição de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação, Rio de Janeiro: CNEN, 2002.
- [4] M. A. C. GÓES, A. B. LUZ e M. V. POSSA, Tratamento de Minérios - Amostragem, 4ª ed., Rio de Janeiro: CETEM, 2004.
- [5] J. A. SAMPAIO, S. C. A. FRANÇA e P. F. A. BRAGA, Tratamento de Minérios - Práticas Laboratoriais, Rio de Janeiro: CETEM, 2007.
- [6] E. J. LAWVER e D. M. HOPSTOK, “Electrostatic and magnetic separation,” em *SME Mineral Processing Handbook*, Englewood, Colorado: Society for Mining, Metallurgy & Exploration Inc., 1985, pp. 6.1-6.48.
- [7] L. LI, Electrical And Magnetic Separation Of Particles, Tese (Doctor of Philosophy). Saint Louis: Washington University in St. Louis, 2010.
- [8] A. B. LUZ, J. A. SAMPAIO e J. L. M. ALMEIDA, Tratamento de Minérios, 4ª Edição ed., Rio de Janeiro: CETEM, 2004.
- [9] R. VAN GRIEKEN e A. MARKOWICK, Handbook of X-ray spectrometry, New York: Dekker, 2002.
- [10] VERTES, A., NAGY, S., KLENCSAR, Z., LOVAS, R. G. e RÖSCH, F., Handbook of Nuclear Chemistry, 2ª edição ed., Nova Iorque: Springer, 2002.
- [11] M. BENEDICT, T. H. PIGFORD e H. W. LEVI, Nuclear Chemical Engineering, 2ª ed., D. D. Heiberg, Ed., Nova Iorque: McGraw-Hill Book Company, 1981.
- [12] Comissão Nacional de Energia Nuclear, Resolução CNEN 168/14: Norma CNEN-NN 8.01 Licenciamento de Depósitos de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação, Rio de Janeiro: CNEN, 2014.
- [13] R. H. PERRY, Perry’s chemical engineers’ handbook, Nova Iorque: McGraw-Hill, 1997.