



## CARACTERIZAÇÃO DO REJEITO DE LIXIVIAÇÃO DA USINA DA VANÁDIO DE MARACÁS S/A

SOARES, A.B.<sup>1</sup>, DE ANDRADE LIMA, L.R.P<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal da Bahia (UFBA), Programa de Engenharia Industrial (PEI).

e-mail: amandabarretosoares@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal da Bahia (UFBA), Departamento de Ciência e Tecnologia dos Materiais

e-mail: lelo@ufba.br

### RESUMO

O interesse de oferecer um uso futuro ao rejeito gerado pelo processo de lixiviação de um minério de vanádio gerou a necessidade de caracterizar este material. O objetivo desse trabalho é caracterizar o rejeito final da planta de lixiviação da Vanádio de Maracás S/A. Para isso, foram realizados testes granulométricos, químicos, mineralógicos e de lixiviação. O resultado da granulometria realizada no rejeito apontou que a maioria das partículas é maior que 0,031 mm e menor que 0,125 mm, com teores de vanádio entre de 0,514 a 0,839%. O rejeito gerado na planta de lixiviação é composto basicamente por hematita, com consideráveis teores de titânio e vanádio. Os testes de lixiviação mostraram que ainda há vanádio a ser recuperado no rejeito final e que a maior parte deste vanádio é extraído com uma hora de lixiviação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vanádio, Lixiviação, Rejeito.

### ABSTRACT

The interest of offering a future use to the tailing generated by the leaching process of a vanadium ore caused the necessity to characterize this material. The purpose of this paper was to characterize the tailings of the Vanádio de Maracás S/A leaching plant. Granulometry, mineralogy and leaching tests were carried out in the laboratory. The result of granulometry and X-ray fluorescence showed that most of the particles are bigger than 0.031 mm and less than 0.125 mm, with levels of vanadium between 0.514 and 0.839%. The tailings contain iron ore, hematite, with considerable levels of titanium and vanadium. The leaching tests also show that there is still vanadium to be recovered from the tailings, and the 50% of the vanadium in the ore is recovered with a one step process.

**KEYWORDS:** Vanadium, Leaching, Tailing.

## 1. INTRODUÇÃO

Um método usual para a recuperação de vanádio a partir de magnetita titanovanadínifera envolve fusão alcalina e posterior lixiviação com água (GUPTA, 1984; TAYLOR et al., 2006). A extração de vanádio presente na magnetita titanífera-vanadífera de Maracás (Bahia) vem sendo realizada industrialmente desde 2014 pela Vanádio de Maracás S/A (VMSA) com o objetivo de produzir pentóxido de vanádio. A usina da Vanádio de Maracás processa o minério usando etapas de britagem, peneiramento, separação magnética a seco, moagem, separação magnética a úmido, filtragem, fusão alcalina com sais de sódio, lixiviação com água morna, remoção de sílica com sulfato de alumínio, precipitação do metavanadato com amônia, secagem e degradação térmica do metavanadato de amônio com a produção de  $V_2O_5$ , como está representado na Figura 1.

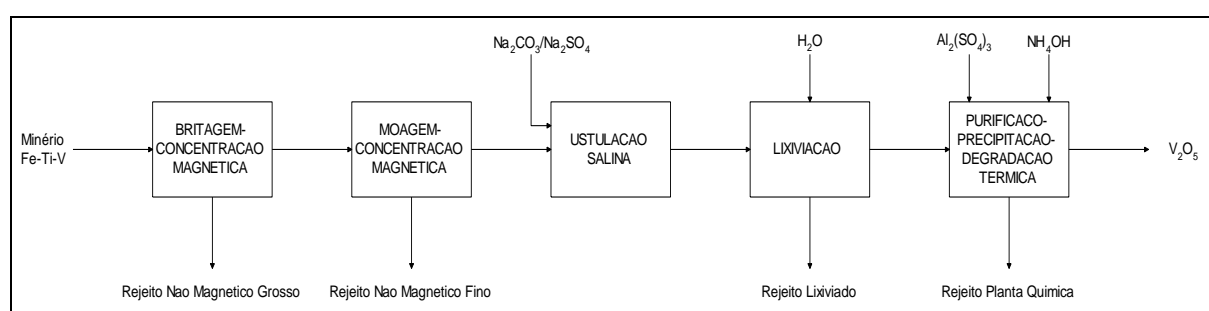


Figura 1. Fluxograma de processo de produção de  $V_2O_5$  da VMSA.

Após a liberação e concentração magnética, o tratamento do minério rico em Fe e V envolve fusão alcalina com carbonato e sulfato de sódio em forno rotativo e atmosfera oxidante a temperatura de  $1150^\circ\text{C}$  visando transformar a magnetita em hematita e promover a formação de vanadato de sódio. Este material é resfriado até a temperatura de  $400^\circ\text{C}$ . O minério segue por correia transportadora para uma unidade de lixiviação, com água, gerando uma solução rica em vanádio e um rejeito rico em ferro. A unidade de lixiviação da usina da Vanádio de Maracás opera com alimentação de 65 t/h de minério e  $115\text{ m}^3/\text{h}$  de solução. O processo ocorre em dois tanques de  $90\text{ m}^3$ , a uma temperatura de  $80^\circ\text{C}$  e tempo de residência nominal de 85 minutos. A produção de rejeito na lixiviação é de aproximadamente  $47 \times 10^3\text{ t/mês}$ , o que tem promovido a geração de grandes pilhas de rejeito e tem motivado estudos para o seu aproveitamento. A Tabela 1 mostra o resultado da análise química típica do rejeito final com os teores apresentados em porcentagem em massa. O objetivo deste trabalho é apresentar uma caracterização física, química e mineralógica do rejeito final da lixiviação da usina da Vanádio de Maracás.

Tabela 1. Análise química típica do rejeito final (%).

Fe	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	MgO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	S	K <sub>2</sub> O	Cr <sub>2</sub> O	P
58,0	6,6	3,2	1,8	1,8	1,5	0,7	0,6	0,1	0,06	0,04	0,01

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O material estudado foi o rejeito final da lixiviação, coletado em distintos pontos na pilha de rejeito em agosto de 2016 resultando uma massa de aproximadamente 25 kg. A amostra global foi homogeneizada e quarteada até uma massa de aproximadamente 800 g. Este material foi armazenado sem redução de tamanho. Foi separada uma amostra de 500 g do rejeito final para peneiramento a seco usando as peneiras de 1400, 850, 600, 500, 250, 149, 105, 74 e 37  $\mu\text{m}$ . Posteriormente foi efetuada pesagem de cada fração para avaliação da distribuição granulométrica.

As análises químicas foram realizadas com auxílio do espectrômetro de fluorescência de raios-X portátil *Thermal Scientific Analyser*, modelo *Niton XL3T* com calibração de rochas e minérios. A análise mineralógica foi realizada com difratômetro de raios-X *Shimadzu*, modelo *LabX XRD-6000*, que opera com fonte de cobre.

Uma amostra do rejeito foi usada para fazer uma seção polida que foi analisada usando o microscópio eletrônico de varredura com fonte FEG e analisador integrado de minérios com quatro detectores EDAX (Energy Dispersive Silicon Drift Detectors) 4 TIMA-X da TESCAN Orsay Holding ([www.tescan.com](http://www.tescan.com)) (Gottlieb et al, 2017).

Os ensaios de lixiviação foram feitos em escala de bancada e temperatura ambiente utilizando água deionizada como agente lixiviante. Foi usada uma mesa agitadora orbital (*Novatecnica*, modelo *NT 155*) ajustada para uma velocidade suficiente para manter as partículas em suspensão. Após os ensaios a polpa foi filtrada a vácuo e a fração sólida foi seca em estufa por 24 horas, gerando o rejeito final lixiviado. O rejeito final foi submetido a ensaios de lixiviação para extrair todo o vanadato de sódio presente no material, em duas circunstâncias:

- a) Lixiviação do material em diferentes faixas granulométricas. O tempo total de lixiviação foi de 24 horas, com o material nas faixas granulométricas +250, -250+149, -149+105, -105+74, -74+37 e -37  $\mu\text{m}$ . As polpas de lixiviação foram compostas por 25g de material e 50g de água deionizada;
- b) Lixiviação do material em diferentes tempos de residência. O tempo total de lixiviação variou 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12 e 24 horas, com o material menor que 2000  $\mu\text{m}$ . As polpas de lixiviação foram compostas por 30g de material e 60g de água deionizada.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta a distribuição granulométrica realizada na amostra do rejeito final. O material apresentou 17% de massa retida em 0,297 mm e 6% passante em 0,031 mm, com  $d_{50}$  igual a 0,119 mm, apresentando-se assim a uma granulometria fina adequada para a lixiviação.

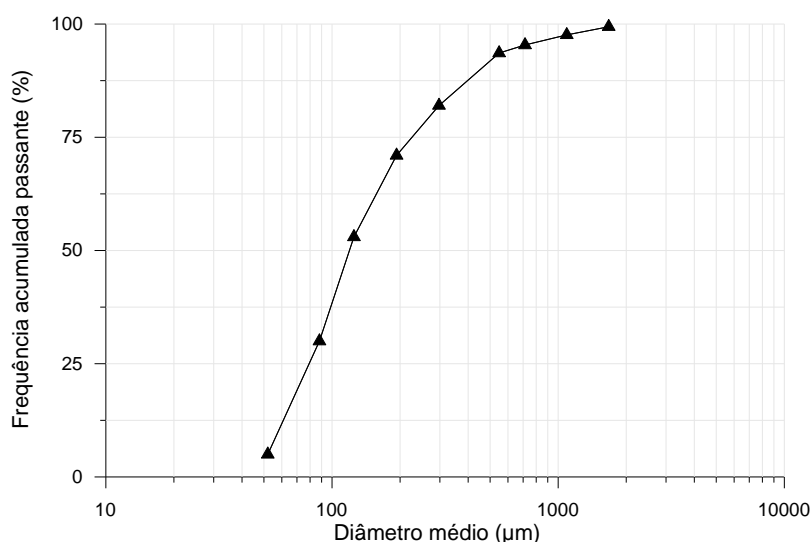


Figura 2. Distribuição granulométrica do rejeito final.

Tabela 2. Análise granuloquímica do rejeito final.

Faixa Granulométrica (µm)	Diâmetro médio (µm)	Frequência simples (%)	Teores (% em massa)		
			Fe	V	Ti
+ 250	297	17,4	52,85	0,839	2,17
-250+149	193	11,5	53,76	0,747	2,15
-149+105	125	17,5	55,90	0,724	2,47
-105+74	88	23,5	56,07	0,677	2,36
-74+37	52	24,5	58,09	0,631	2,64
- 37	31	5,5	59,36	0,514	2,86

A Tabela 2 mostra o resultado das análises químicas realizadas em cada faixa granulométrica. Nota-se que os teores de vanádio variam entre 0,51 a 0,84%, com uma tendência de diminuição dos teores nas frações mais finas. Os principais elementos químicos encontrados na amostra de rejeito final foram ferro, titânio e vanádio.

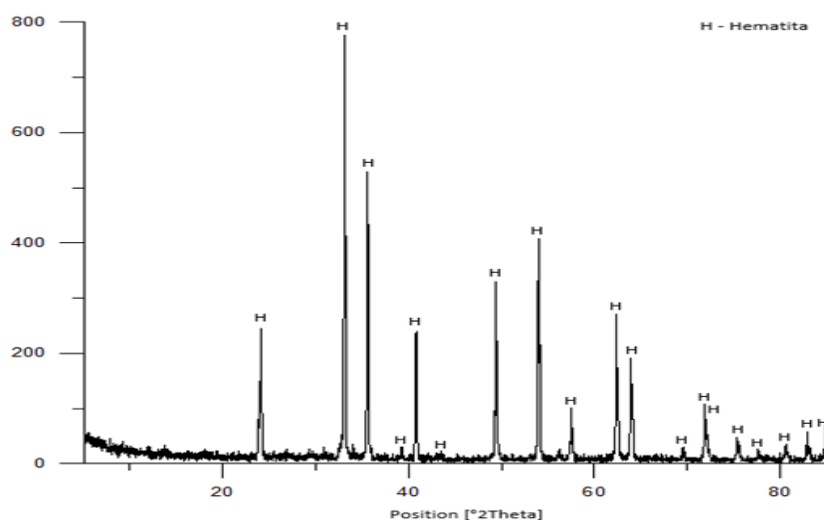


Figura 3. Difração de raios-X da amostra de rejeito da lixiviação.

O resultado da difração de raios-X do rejeito final mostra que o constituinte principal é hematita, oriundo da conversão quase completa da magnetita, como mostra a Figura 3. Ilmenita pode estar presente na amostra pois tem padrão de DRX análogo a hematita e o teor de  $TiO_2$  na amostra é de cerca de 7%.

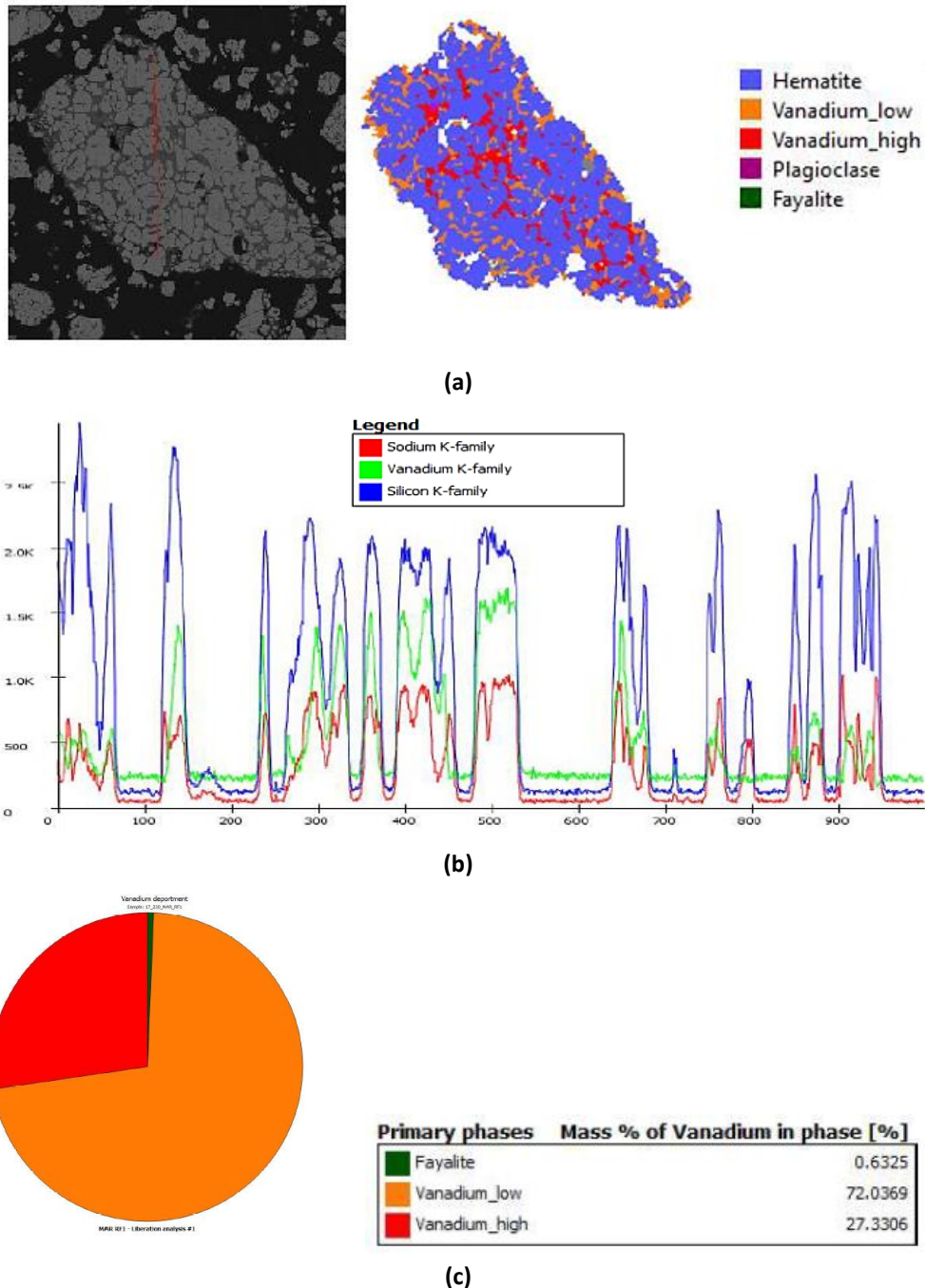


Figura 4. Imagem eletrônica do rejeito da lixiviação: a) mapeamento do vanádio, b) perfil de composição de sódio, vanádio e sílica, c) distribuição de vanádio nas partículas do rejeito da lixiviação.

Os resultados da microscopia eletrônica, MLA, mostraram que o rejeito ainda possui vanádio associado às partículas de hematita, com a concentração aumentando das bordas para o centro, como mostra a Figura 4a. Isso indica que o lixiviante não teve tempo

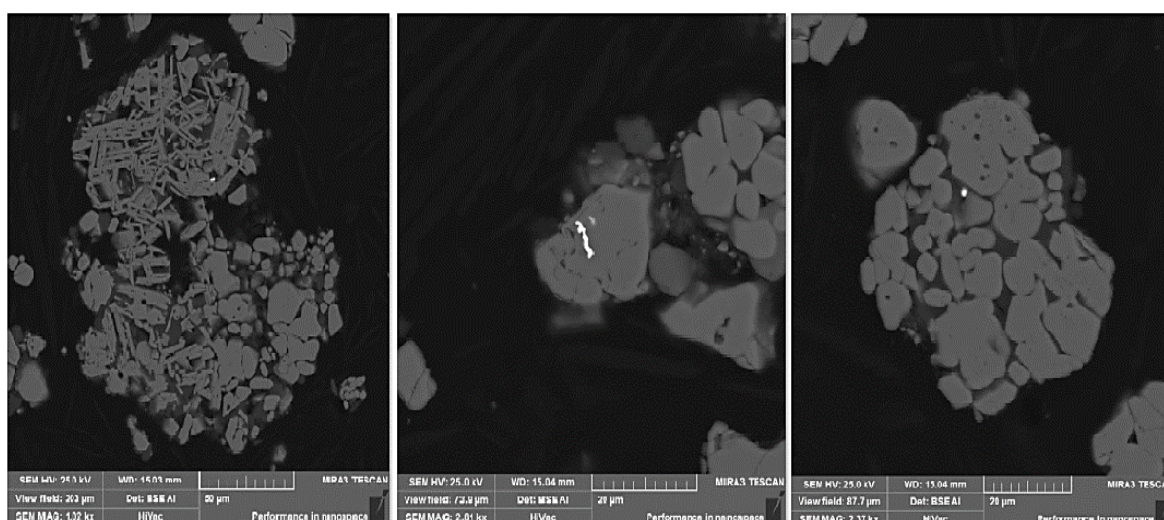
suficiente para penetração em toda extensão da partícula. A Fig. 4b representa a análise do perfil feito na partícula da Fig. 4a. Ela mostra que o rejeito final é constituído de pequenas partículas de hematita que são aglomerados por uma fase sólida constituída de vanádio, sódio e sílica. A Fig. 4c representa a distribuição em massa do vanádio nas partículas, mostrando que a maior parte do vanádio contido no rejeito final ainda pode ser recuperada, o que reitera as informações supracitadas.

A Tabela 3 mostra o teor de vanádio por faixa granulométrica analisado pelo MEV, onde é possível observar que a quantidade de vanádio aumenta com o aumento do tamanho da partícula, confirmando os resultados obtidos com a fluorescência de raios-X.

**Tabela 3. Conteúdo de vanádio estimado por análise no MEV**

Faixa Granulométrica ( $\mu\text{m}$ )	Teor de vanádio (%)	Teor estimado normalizado de V (%)	Teor estimado não normalizado de V (%)
0 – 100	0,14	34,08	0,08
100 – 200	0,23	23,64	0,06
200 – 300	0,43	14,76	0,03
300 – 400	0,50	9,19	0,02
400 – 500	0,66	8,14	0,02
>500	0,76	10,20	0,02
Total	-	100	0,24

Na análise mineralógica também foi encontrado platina na forma nativa no interior de partículas de hematita, como visto na Figura 5. O teor geral de platina no rejeito final é cerca de 1 ppm, com partículas menores que 2,6  $\mu\text{m}$ .



**Figura 5. Imagem eletrônica do rejeito final da lixiviação mostrando partículas de hematita (cinza) e platina (branca).**

A análise granulométrica do rejeito final lixiviado mostra que os teores de vanádio se encontram entre 0,18 a 0,33%, com uma tendência de diminuição dos teores nas frações mais finas. A redução dos teores após o processo de lixiviação mostra que ainda tem vanádio na forma solúvel no rejeito. Os teores médios são de 50,0% Fe, 1,8% Ti e 0,22% V. A Tabela 4 mostra os resultados obtidos em laboratório, onde se vê que a recuperação de vanádio a partir da lixiviação do rejeito final é em torno de 70% e que não há variações significativas de uma faixa granulométrica para a outra.

**Tabela 4. Rejeito final lixiviado por faixas granulométricas.**

Faixa Granulométrica ( $\mu\text{m}$ )	Teores (% em massa)			Recuperação de Vanádio (%)
	Fe	V	Ti	
+ 250	47,09	0,327	1,65	61,0
-250+149	47,08	0,214	1,59	71,4
-149+105	49,47	0,217	1,73	70,0
-105+74	51,62	0,208	1,86	69,3
-74+37	53,05	0,191	2,08	69,7
- 37	51,75	0,188	1,91	63,4

As análises do rejeito final lixiviado por diferentes períodos são apresentadas na Tabela 5. A amostra de rejeito final possui teores de 58,2% de ferro, 2,5% de titânio e 0,57% de vanádio. Após o processo de lixiviação, os teores médios são de 60,4% Fe, 2,7% Ti e 0,27% V. O teor médio de vanádio, após a retirada completa do vanádio solúvel, é estimado em 0,272%. Tendo em vista que a planta de lixiviação possui uma alimentação de 65 t/h de minério, com um rejeito com 0,567% de vanádio, a planta descarta 0,1917 t/h de vanádio solúvel, o que no mês daria em torno 138 toneladas de vanádio. Os valores de recuperação mostram que a maior parte do vanádio é extraída da fase sólida com somente uma hora de lixiviação, e a partir desse tempo a recuperação de vanádio se mantém em torno de 52%.

**Tabela 5. Cinética de lixiviação do rejeito final.**

Tempo total de lixiviação (horas)	Teores (em massa %)			Recuperação de Vanádio (%)
	Fe	V	Ti	
0	58,25	0,567	2,48	0
1	61,23	0,286	2,86	49,6
2	60,07	0,252	2,65	55,6
4	57,62	0,247	2,63	56,4
6	63,01	0,232	2,82	59,1
8	59,85	0,284	2,69	49,9
10	61,72	0,277	2,74	51,1
12	59,95	0,289	2,78	49,0
24	59,75	0,311	2,79	45,1

Resultados preliminares, não apresentados neste trabalho, da lixiviação com água deionizada do produto da fusão alcalina que alimenta a seção de lixiviação da usina, apresentaram uma extração de 90% do vanádio em um período de contato de 60 minutos, o que indica que ao ser utilizado uma parte da própria lixivia no processo de lixiviação faz com

que o vanádio seja dissolvido mais lentamente quando comparado ao uso de água deionizada.

#### **4. CONCLUSÕES**

Os rejeitos de uma planta de lixiviação do minério de vanádio da região de Maracás (BA) foram caracterizados. Este rejeito final tem granulometria fina, com  $d_{50}$  de 119  $\mu\text{m}$  e predominância de ferro, titânio e vanádio, sendo rico em hematita. Os testes granulométricos mostraram que o teor de vanádio aumenta com o aumento do tamanho das partículas. Foram identificadas partículas de platina oclusas nas partículas e de difícil recuperação. Os testes de lixiviação mostraram que ainda há vanádio a ser recuperado no rejeito e que 60 minutos são suficientes para sua lixiviação com água pura.

#### **5. AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem a Vanádio de Maracas S/A pelo fornecimento de amostras e informações referentes ao processo e a Rui Eduardo Moreira da TESCAN do Brasil Instrumentos Científicos Ltda pela realização da caracterização usando TIMA-X. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

#### **6. REFERÊNCIAS**

- Gupta C. Extractive metallurgy of niobium, tantalum and vanadium. *International Metal Review* 1984; 29(6); 405-441.
- Gupta C, Krishnamurthy N. Extractive metallurgy of vanadium. *Process Metallurgy* 8. Elsevier Science 1992, p.1-690.
- Gottlieb P, Rosseto R, Costa L, Maldonado O. TESCAN integrated mineral analyzer: a new generation of process mineralogy technology. *Procemin GEOMET*; 2017 Oct 4-6; Santiago, Chile. p. 1-12.
- Habashi, F. *Handbook of extractive metallurgy*. 1a. ed. New York: WILEY-VCH; 1997. 3 v. Chapter 32, Vanadium, p. 1470-1489.
- Taylor P, Shuey S, Vidal E, Gomez J. Extractive metallurgy of vanadium containing titaniferous magnetite ores: a review. *Mineral & Metallurgical Processing* 2006; 23(2); 80-86.