

# ESTUDO DE CONCENTRAÇÃO DE MONAZITA EM UMA AMOSTRA DE CARBONATITO FRIÁVEL BRASILEIRO

**Maria Clara Novaes Silva**

Aluna de Graduação de Engenharia Química, 5º período, UFRJ

Período PIBIC/CETEM: Agosto de 2016 a Julho de 2016,

[mnovaes@cetem.gov.br](mailto:mnovaes@cetem.gov.br)

**Elves Matiolo**

Orientador, Engenheiro de Minas, DSc.

[ematiolo@cetem.gov.br](mailto:ematiolo@cetem.gov.br)

## Resumo

Os elementos de terras-raras (ETR) são os quinze da série dos lantanídeos, incluindo o Ítrio e o Escândio. Estes possuem diversas aplicações industriais e, por esse motivo, sua demanda cresce anualmente. O Brasil possui a segunda maior reserva mundial de ETR e os principais depósitos minerais estão relacionados a rochas do tipo carbonatitos, que contem, além de ETR, mineralizações importantes em nióbio e fosfatos. O CETEM tem desenvolvido trabalhos focados no desenvolvimento de tecnologias para a obtenção de compostos de terras-raras a partir de minérios brasileiros. Este trabalho teve por objetivo avaliar a viabilidade técnica de concentração da monazita em uma amostra de carbonatito friável. As operações unitárias empregadas envolveram etapas de classificação em peneiras e em hidrociclones, moagem em moinho de barras, separação magnética de baixo campo e flotação de barita, com o intuito de concentrar a monazita na fração afundada. Os resultados indicam que apesar da boa seletividade na etapa de flotação de barita, não foi verificado um enriquecimento significativo em relação aos OTR.

**Palavras chave:** terras-raras, monazita, barita.

## MONAZITE CONCENTRATION STUDY IN A BRAZILIAN WEATHERED CARBONATITE ORE

### Abstract

The rare earth elements (REE) are the fifteen in the lanthanides series, including Yttrium and Scandium. They possess many industrial applications and, for this reason, their demand grows annually. Brazil has the world's second largest reserve of REE and the main mineral deposits are related to carbonatite type of rocks, which has, besides REE, important mineralization in niobium and phosphates. CETEM has been developing assignments focused on technology development for the achievement of rare earth compounds by Brazilian ores. This project was aimed at evaluating the technical viability of monazite concentration in a friable carbonatite sample. The unitary operations involved the steps of classification in screens and in hydrocyclones, grinding in a rod mill, low field magnetic separation and barite flotation, in order to concentrate monazite in the sink fraction. The results showed that despite the good selectivity in barite flotation step, no significant enrichment in terms of REO was observed in the sink fraction.

**Keywords:** Rare earth, monazite, barite.

## **1. INTRODUÇÃO**

Os elementos de terras-raras (ETR) são definidos como os quinze da série dos lantanídeos, incluindo o Ítrio e o Escândio. Esses apresentam características físico-químicas semelhantes e podem ser divididos em dois subgrupos baseado em seus raios iônicos: elementos terras-raras leves, de La ao Sm e o Ítrio; e elementos terras-raras pesados, Eu ao Lu. O Escândio não entra em nenhuma dessas classificações (Jordens *et al.*, 2013; Kumari *et al.*, 2015).

Por apresentarem propriedades específicas, os ETR possuem diversas aplicações industriais, como em automóveis elétricos e híbridos, luzes fluorescentes, ligas metálicas, entre outros (Kumari *et al.*, 2015). O maior fornecedor de ETR é a China, que deteve aproximadamente 86,2% da produção mundial em 2014 (DNPM, 2015). Contudo, após a aplicação de políticas governamentais visando à proteção do meio ambiente, o país diminuiu sua exportação o que resultou em uma nova fase de estudos básicos e desenvolvimento de projetos nos demais países detentores de reservas minerais desses elementos. O Brasil possui recursos minerais importantes de terras-raras, contendo em torno de 17% das reservas mundiais o que corresponde a segunda maior do mundo. Os mais importantes depósitos de ETR estão localizados em Catalão (GO), Araxá (MG), Tapira (MG), Jacupiranga (SP), Mato Preto (PR), etc. Entre as empresas detentoras destacam-se a CBMM, Vale, INB e Mineração Terras Raras (DNPM, 2015).

O CETEM tem desenvolvido pesquisas na área de terras-raras, através de uma encomenda do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) através do Fundo Setorial Mineral (CT-Mineral). Este trabalho teve por objetivo avaliar a possibilidade de concentração da monazita em uma amostra de um carbonatito friável brasileiro aplicando-se as operações unitárias de classificação (peneiras de hidrociclones), separação magnética de baixo campo, moagem, deslamagem e flotação de barita.

## **2. OBJETIVOS**

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a viabilidade técnica de concentração da monazita em uma amostra de carbonatito friável brasileiro. Os objetivos específicos foram: realizar a caracterização química, física e mineralógica da amostra de carbonatito friável; avaliar as operações unitárias de classificação, separação magnética, moagem e flotação de barita com o objetivo de concentração da monazita; determinar o balanço de massa e metalúrgico dos óxidos de terras raras (OTR) no processo.

## **3. METODOLOGIA**

### **3.1 Minério**

Foi utilizada uma amostra de 400 kg de minério de terras raras proveniente de um complexo carbonatítico brasileiro. A amostra foi obtida no horizonte friável da mineralização.

### **3.2 Caracterização da amostra**

A caracterização da amostra ROM envolveu a análise de teores por Fluorescência de raios X (FRX) e caracterização mineralógica através das técnicas de Difração de Raios

X (DRX, refinamento de *Rietveld*) e análise de imagens em MEV. As caracterizações foram feitas tanto para amostra global quanto para frações granulométricas classificadas entre 1000 µm e 20 µm.

### 3.3 Fluxograma do processo de concentração

As operações unitárias do fluxograma de processo para a concentração da monazita envolveram as etapas de classificação em peneiras e hidrociclones, moagem em moinho de barras, separação magnética de baixo campo e flotação de barita. A amostra ROM abaixo de 3,36mm foi classificada em 75µm em peneira. A fração retida em 75µm foi peneirada em 1,18mm. A fração retida em 1,18 mm foi britada até obtenção de material 100% passante neste tamanho. A fração < 1,18 mm > 75 µm alimentou uma etapa de separação magnética de baixo campo e a fração passante (< 75µm) seguiu para uma etapa de deslamagem em hidrociclone.

A separação magnética foi realizada em um separador magnético de tambor rotativo INBRAS-Eriez, modelo WDL-8 com a polpa em 25% de sólidos e com campo magnético de 1000G e rotação de 35 rpm. O não magnético resultante dessa separação alimentou a moagem cujo produto final apresentou  $P_{80}$  de 74µm. O produto da moagem foi separado em alíquotas de aproximadamente 1,4 kg para os ensaios de flotação de barita e foi denominado como fluxo de “grossos”.

A deslamagem da fração < 75 µm foi feita em um hidrociclone da AKW com *vortex finder* de 12 mm e *apex finder* de 7 mm. O *underflow* com a fração com tamanho entre < 75 µm > 10 µm foi denominada de “finos” e foi separada em alíquotas de 1,4 kg e enviada para os ensaios de flotação de barita. O fluxo do *overflow*, que representa a fração menor que 10µm, é descartado como rejeito do processo de concentração mineral e foi enviado para ensaios de metalurgia extrativa para extração de ETR.

Com as frações “grossa” e “fina” foram realizados ensaios de flotação de barita. O condicionamento da polpa com os reagentes coletor e espumante foi realizado em uma célula de flotação DENVER em uma cuba de 2L litros com rotação de 350 rpm com porcentagem de sólidos de 40%. Para a flotação foi utilizada uma máquina de flotação da *Maggoteaux* em uma cuba de 5L com porcentagem de sólidos de aproximadamente 25%. A rotação foi de 850 rpm e a vazão de ar de 2L/min. A Tabela 1 mostra os reagentes utilizados, suas funções, fornecedores e faixa de dosagens aplicadas. O pH da flotação foi de 9 e regulado com NaOH.

**Tabela 1:** Reagentes utilizados nos ensaios de flotação de barita

Reagente	Função	Fornecedor	Faixa de dosagem (g/t)
Flotador 7089	Coletor	Clariant	150-300
Flotanol D14	Espumante	Clariant	15-30
Lupromin FPB 251	Coletor	BASF	150-300
Lupromin FPB 715	Coletor	BASF	150-350
Lupromin FF 70	Espumante	BASF	30

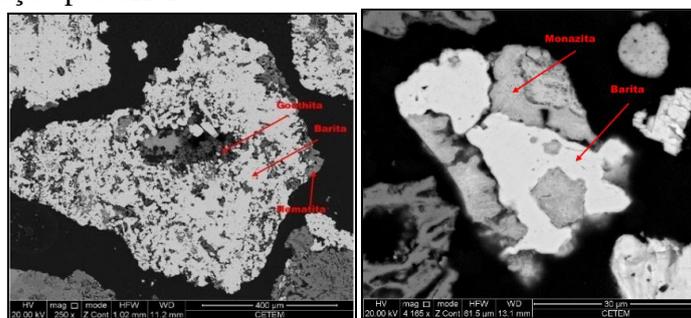
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização do minério

A análise de teores da amostra ROM mostrou que o somatório dos OTR é em torno de 2,5%. Os outros dois óxidos mais abundantes são BaO e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> com teores de maiores que 30% para o BaO e 44,68% para os óxidos de ferro. A caracterização mineralógica mostra que os minerais mais abundantes na amostra são a barita (38,9%), goethita

(34,7%) hematita (9,8%), monazita (4%), além de quartzo e magnetita. O óxido de terras-raras mais abundante na amostra é o  $\text{CeO}_2$  que analisou teor de 1,0%, seguido do  $\text{La}_2\text{O}_3$  com teor de 0,62%, depois  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  com teor de 0,54% e por fim o  $\text{Pr}_6\text{O}_{11}$  com teor de 0,17%. A soma desses quatro óxidos representa em torno de 95% do total de ETR. Há uma tendência do aumento do teor de OTR conforme a diminuição do tamanho de partícula, sendo que a fração < 20  $\mu\text{m}$  apresenta teor de 3,95%, maior do que o observado na fração acima deste tamanho (entre 38 e 20 $\mu\text{m}$ ), que analisou 2,89%. Em torno de 60% do total dos ETR estão concentrados na fração abaixo de 20  $\mu\text{m}$ ;

A monazita não possui uma boa liberação já que há um intenso intercrescimento entre ela e os minerais da ganga e, além disso, as partículas superficiais dele não se encontram expostas (Neumann *et al.*, 2015). A Figura 1 apresenta imagens de MEV onde se pode observar a característica da monazita de apresentar baixa liberação. Devido às características da monazita da amostra, foi testada a alternativa de flotação de barita nas frações grossa e fina do minério com o objetivo de concentrar a monazita na fração afundada. Essa alternativa teve como vantagens a concentração de OTR, mesmo não sendo produzido um concentrado final, e diminuição da massa a ser alimentada ao circuito de lixiviação posterior.



**Figura 1:** Imagem de MEV do mineral monazita associado à goethita, barita e hematita.

## 4.2 Resultados de processo

A Figura 2 apresenta o balanço de massa e metalúrgico para o  $\text{CeO}_2$ . O balanço metalúrgico foi fechado apenas para esse óxido de terras-raras por ser esse o mais abundante na amostra.

A partição em massa na fração de 75  $\mu\text{m}$  gerou 60% do material passante neste tamanho e a partição na deslamagem desta fração gerou em torno de 20% da massa como produto do *overflow*. Essa fração com teor de OTR em torno de 4% (2%  $\text{CeO}_2$ ) segue para a etapa de lixiviação de ETR. O *underflow* alimentou os ensaios de flotação de barita na fração fina. Na flotação da barita na fração fina, o melhor resultado alcançou recuperação de  $\text{BaSO}_4$  da ordem de 80%, gerando um concentrado com teor de 75% a partir de uma alimentação de 32% de  $\text{BaSO}_4$ , o que representa uma recuperação em massa na etapa de flotação da ordem de 32%. As perdas de OTR no concentrado de barita são consideradas baixas, da ordem de 25%.

Em relação ao fluxo da fração acima de 75  $\mu\text{m}$ , a etapa de separação magnética produziu em torno de 5% da massa como fração magnética. Na flotação de barita da fração grossa após moagem, a recuperação deste mineral foi da ordem de 83%, produzindo um concentrado com teores da ordem de 73% a partir de uma alimentação de 40%. A recuperação em massa nesta fração foi da ordem de 43%.

Mesmo com elevada recuperação em massa na etapa de flotação de barita e grande seletividade na flotação deste mineral, não foram observados enriquecimentos significativos em CeO<sub>2</sub> na fração afundada.

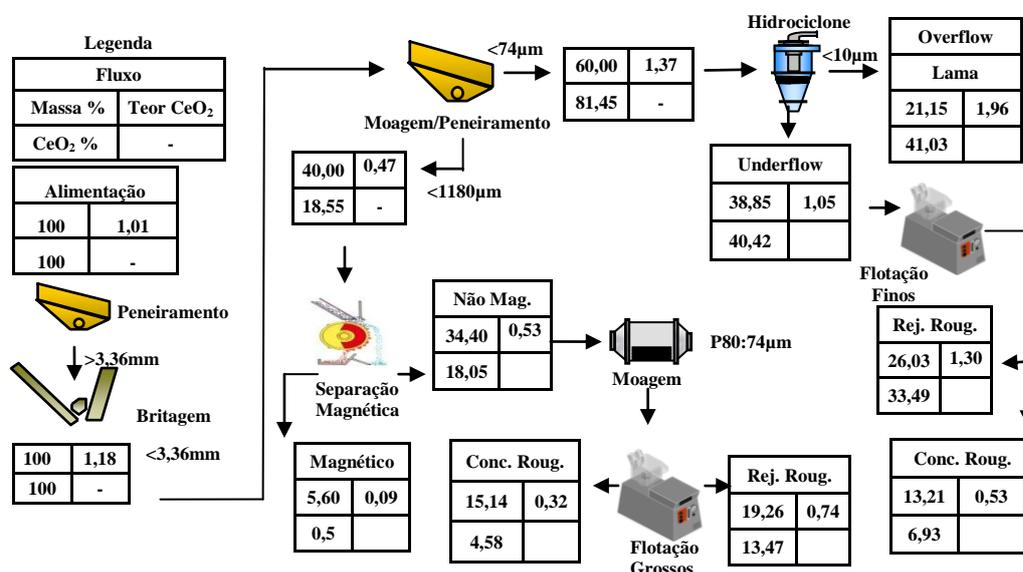


Figura 2: Balanço de massa e metalúrgico do processo de concentração de CeO<sub>2</sub>.

## 5. CONCLUSÕES

Apesar da alta seletividade na etapa de flotação de barita e dos altos valores de recuperação em massa alcançados, não foi observado um enriquecimento em relação aos OTR de maneira significativa. Entretanto, a flotação prévia de barita neste minério, por ser a ganga mais abundante, pode significar em uma redução da massa a ser alimentada ao circuito de lixiviação, trazendo como benefício à necessidade de instalações menores para a etapa de metalurgia extrativa.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq pela bolsa de iniciação científica, ao meu orientador Elves Matiolo e às minhas co-orientadoras Amanda Soares e Lígia Gonzaga por todo o aprendizado e paciência, ao CETEM e a todos os funcionários, que sempre se mostraram solícitos. Este projeto foi financiado com recursos do projeto PROTERARAS-PD&I em tecnologia de processos para a obtenção de compostos de terras-raras, processo CNPq 401552/2013-6.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DNPM, Sumário Mineral, 2015.

JORDENS, A., CHENG, Y.P., WATERS, K.E. **A review of the beneficiation of rare earth element bearing minerals.** Minerals Engineering. 41, pp 97-114. 2013.

KUMARI, A., PANDA, R., JHA, M.K., RAJESH KUMAR, J., LEE, J.Y. **Process development to recover rare earth metals from monazite mineral: A review.** Minerals Engineering.79, pp.102–115. 2015.

R. NEUMANN, E.B. MEDEIROS, **Comprehensive mineralogical and technological characterisation of the Araxá (SE Brazil) complex REE (Nb-P) ore, and the fate of its processing.** International Journal of Mineral Processing, Vol. 144, 2015.