

MINERALOGIA DO CARBONATITO DE CATALÃO I, COM ÊNFASE NOS MINERAIS PORTADORES DE ELEMENTOS TERRAS RARAS

MINERALOGY OF THE CATALÃO I CARBONATITE, TARGETING RARE EARTH ELEMENTS CARRIERS

Gabriela Pereira Silva

Aluna de Graduação da Geologia 7º período, UFRJ

Período PIBIC: agosto de 2016 a julho de 2017

gabi_pereira_silva@hotmail.com

Reiner Neumann

Orientador, geólogo, D.Sc.

rneumann@cetem.gov.br

Felipe Emerson André Alves

Orientador, geólogo, M.Sc.

fealves@cetem.gov.br

RESUMO

O objetivo do presente trabalho é a caracterização mineralógica do carbonatito da mina 2 do complexo alcalino-carbonatítico de Catalão I, com ênfase na identificação e quantificação dos minerais carreadores de elementos terras raras (ETR). O carbonatito estudado é enriquecido em magnesita, que corresponde a mais de 10% do total de carbonatos. Uma amostra formada a partir de furos de sondagem com cerca de 475 kg foi quarteada para a separação de alíquotas representativas para análise química por fluorescência de raios X, difratometria de raios X (DRX) e para classificação granulométrica (1000, 850, 600, 420, 300, 212, 150, 106, 75, 53 e 38 μm). As diferentes frações mais os finos foram quarteados para separação de alíquotas para análise química por fluorescência de raios X, difratometria de raios X e liberação de minerais (MLA). Os resultados das análises por DRX e MLA indicam que a mineralogia deste carbonatito é composta por dolomita, magnesita, tetraferriphlogopita, magnetita, quartzo, barita, lizardita, fluorapatita, norsethita, estroncianita, ilmenita, pirita, carbonato de ETR, Ba, Ca, Na e Sr, calcita magnesiânica, monazita, esfalerita, minerais do supergrupo do pirocloro, galena e brucita. Ankerita, isokita, anfibólio, goethita, vermiculita, jarosita, kukharenkoita e carbocernaíta ocorrem como minerais traço. O principal mineral carreador de ETR é a monazita, que se concentra na fração de granulometria menor que 38 μm e apresenta melhor liberação nas frações abaixo de 150 μm . Os principais ETR encontrados foram Ce, La e Nd, que, de acordo com as análises químicas, estão concentrados nas frações de granulometria menor que 75 μm .

Palavras chave: Elementos terras raras, Catalão I, mineralogia, carbonatito.

ABSTRACT

The objective of the present work is the mineralogical characterization of the carbonatite from mine 2 of Catalão I alkaline-carbonatite complex, aiming at the identification and quantification of the rare earth element minerals. This carbonatite is enriched in magnesite that represents more than 10% of the carbonate minerals. An approximately 475 kg sample was sampled, and a representative aliquot was analyzed by X-ray fluorescence, X-ray diffraction, and to sieve-sized (1000, 850, 600, 420, 300, 212, 150, 106, 75, 53 e 38 μm). The size fractions and fines were subdivided to separate aliquots that were analysed by X-ray fluorescence, X-ray diffraction and mineral liberation analysis. The results acquired by XRD and MLA indicate that this carbonatite is composed by dolomite, magnesite, tetraferriphlogopite, magnetite, quartz, barite, lizardite, fluorapatite, norsethite, strontianite, ilmenite, pyrite, REE, Ba, Ca, Na and Sr carbonate,

magnesian calcite, monazite, sphalerite, pyrochlore group minerals, galena andbrucite,whilstankerite, isokite, amphibole, goethite, vermiculite, jarosite, kukharenkoite and carbocernaite are trace minerals. The major carrier of rare earth elements is monazite that is concentrated in the size fraction below 38 μm and presents better liberation below 150 μm . The major rare earth elements found are Ce, La and Nd and they are concentrated in the size fractions below75 μm .

Keywords: Rare earth elements, Catalão I, mineralogy, carbonatite.

1. INTRODUÇÃO

Elementos terras raras (ETR) representam um conjunto de elementos químicos que é composto por Y, Sc e os elementos pertencentes à série dos lantanídeos. Os ETR são relevantes economicamente, pois são utilizados na fabricação de produtos como catalisadores, *lasers* e baterias (Weng *et al.*, 2015).

O complexo alcalino-carbonatítico de Catalão I é caracterizado pela presença de mineralizações de fosfato, nióbio e dos elementos terras raras (Oliveira *et al.*, 2017). Este complexo pertence à Província Ígnea do Alto Paranaíba, que compreende uma área de 25.000 km^2 . O complexo de Catalão I localiza-se a nordeste da cidade de Catalão, na região sudeste do Estado de Goiás.

O material analisado neste trabalho corresponde a um compósito a partir de amostras de furos de sondagem de um carbonatito localizado na mina 2, que é caracterizado por apresentar magnesita como mais de 10% do total de carbonatos.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é a caracterização mineralógica de uma amostra decarbonatito enriquecido em magnesita da mina 2do Complexo de Catalão I, com ênfase na identificação e quantificação dos minerais carreadores de elementos terras raras.

3. METODOLOGIA

Uma amostra com cerca de 475 kg, composta a partir de testemunhos de sondagem, foi britada a -5 mm, homogeneizada e quarteada através do método de pilhas cônicas e longitudinais para a separação de uma alíquota representativa de 1 kg. Este material foi novamente quarteado para a separação de alíquotas para análise química por fluorescência de raios X, difratometria de raios X e para classificação granulométrica. A classificação granulométrica a úmido foi realizada com peneiras com abertura de 1000, 850, 600, 420, 300, 212, 150, 106, 75, 53 e 38 μm .

O material retido em cada peneira abaixo de 1 mm mais o dos finos foi quarteado para separação de alíquotas para análise química por fluorescência de raios X, difratometria de raios X e análise de liberação de minerais (MLA). A fração granulométrica menor que 38 μm não foi utilizada nas análises por MLA.

As alíquotas destinadas à análise por DRX foram moídas em moinho McCrone com 15 ml de água deionizada em jarro plástico com meio moedor de ágata e, em seguida, secas em estufa à temperatura de 40°C. Análises por DRX foram realizadas em um equipamento Bruker AXS D4 Endeavour. Os difratogramas foram interpretados com o *software* Bruker Diffrac.EVA 4.1 utilizando-se padrões contidos no banco de dados PDF-04+2015 do *International Centre for Diffraction Data* e as fases minerais interpretadas foram quantificadas a partir do método de Rietveld em *software* Topas versão 5.0.

As amostras a serem analisadas por FRX foram moídas abaixo de 106 μm e preparadas em prensa automática VANEON, com molde de 20mm, pressão de 20t e tempo de 30s. Foi utilizado ácido bórico como aglomerante na proporção de 0,3g de ácido para 1,0g de amostra seca a 100°C. As análises foram realizadas no modo *standardless* em um espectrômetro por fluorescência de raios X PanalyticalWDS-2 modelo AXIOS. A perda por calcinação foi

realizada em um equipamento LECO TGA-701, sendo que o ensaio foi realizado com 3 pesagens. Na primeira rampa de aquecimento (25-107°C), a variação de temperatura (ΔT) foi de 10°C/min, enquanto na segunda rampa (107-1000°C), ΔT foi 40°C/min. Carbono foi quantificado por analisador elementar LECO SC-632.

As alíquotas destinadas à análise por MLA foram embutidas em resina epóxi para a confecção de seções polidas e posteriormente recobertas por carbono. As análises por MLA foram obtidas por meio de um microscópio eletrônico de varredura FEI Quanta 400 acoplado a um sistema de microanálise química por dispersão de energia (EDS) Bruker Quantax 800. As condições de análise utilizadas foram alto vácuo, tensão de aceleração de elétrons de 25keV e spot size 6,4.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A amostra é composta majoritariamente por MgO, CaO, Fe₂O₃ e CO₂(Tabela 1). Os principais elementos terras raras presentes na amostra são o Ce, La e Nd. Esses elementos estão distribuídos de forma homogênea entre 1000 e 75 μm e estão concentrados nas frações granulométricas abaixo de 75 μm (Figura 1).

Tabela 1: Resultados da análise química da amostra completa.

| | Cabeça | | Cabeça |
|--------------------------------|--------|--------------------------------|--------------|
| SiO ₂ | 7,5 | SO ₃ | 2,0 |
| TiO ₂ | 0,9 | SrO | 1,4 |
| Al ₂ O ₃ | 0,37 | Nb ₂ O ₅ | 0,17 |
| MgO | 26,78 | BaO | 1,8 |
| MnO | 0,3 | La ₂ O ₃ | 0,4 |
| Fe ₂ O ₃ | 8,94 | CeO ₂ | 0,2 |
| CaO | 15,4 | Nd ₂ O ₃ | 0,2 |
| Na ₂ O | 0,1 | PPC | 30,3 |
| K ₂ O | 0,8 | Total | 99,86 |
| P ₂ O ₅ | 2,3 | C | 8,4 |

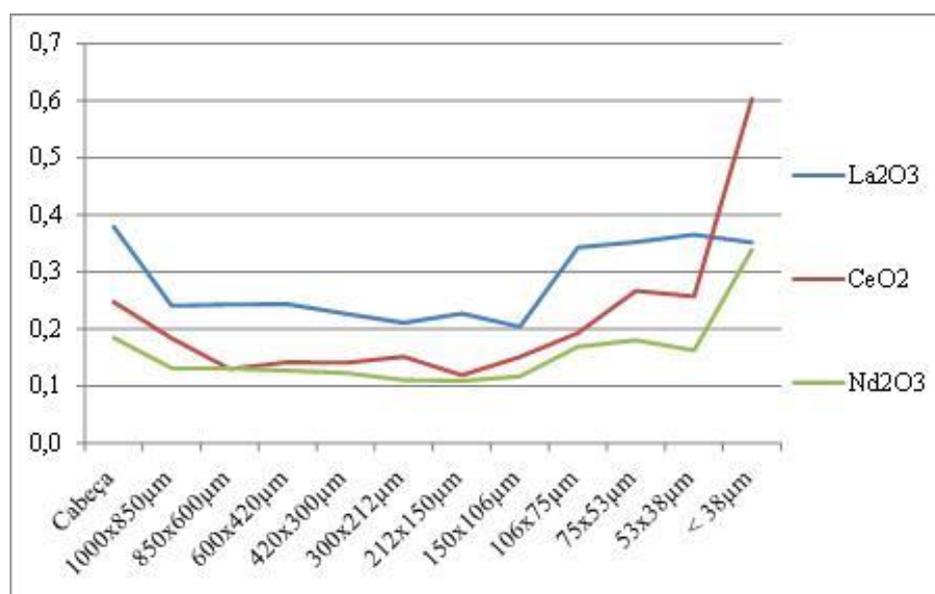


Figura 1: Distribuição de elementos terras raras nos diferentes intervalos granulométricos segundo a análise química por FRX (% de massa).

Os resultados das análises por DRX indicam que a mineralogia principal deste carbonatito é composta por dolomita (47,7%), magnesita (14,3%), tetraferrihogopita (8,9%), magnetita (5,2%), quartzo (3,4%), barita (2,7%), lizardita (2,6%), fluorapatita (4,4%), norsethita (2,0%), estroncianita (2,0%), ilmenita (1,8%), pirita (1,3%), carbonato de ETR, Ca, Na, Ba e Sr ainda não definitivamente identificado, podendo ser burbankita ou carbocernaita (1,2%), calcita magnesiânica (0,9%), monazita (0,9%), esfalerita (0,3%), minerais do supergrupo do pirocloro (0,2%), galena (0,2%) e brucita (0,1%), enquanto os resultados obtidos por MLA indicaram que ankerita (1,0%), isokita (0,8%), anfibólio (0,6%), goethita (0,1%), vermiculita (0,1%), jarosita (0,1%), kukharenkoita (0,1%) e carbocernaita (0,1%) ocorrem como minerais traços. Os valores de porcentagem em massa das análises por MLA não são representativos da amostra como um todo, pois o material analisado neste método não inclui a fração granulométrica menor que 38 μm .

As análises por DRX mostram que monazita e carbonato de ETR, Ba, Ca, Na e Sr estão concentrados na fração de granulometria abaixo de 38 μm , enquanto fluorapatita está concentrada entre as frações de granulometria 75 e 38 μm . Pirocloro encontra-se distribuído de forma homogênea nos diferentes intervalos de granulometria (Figura 2).

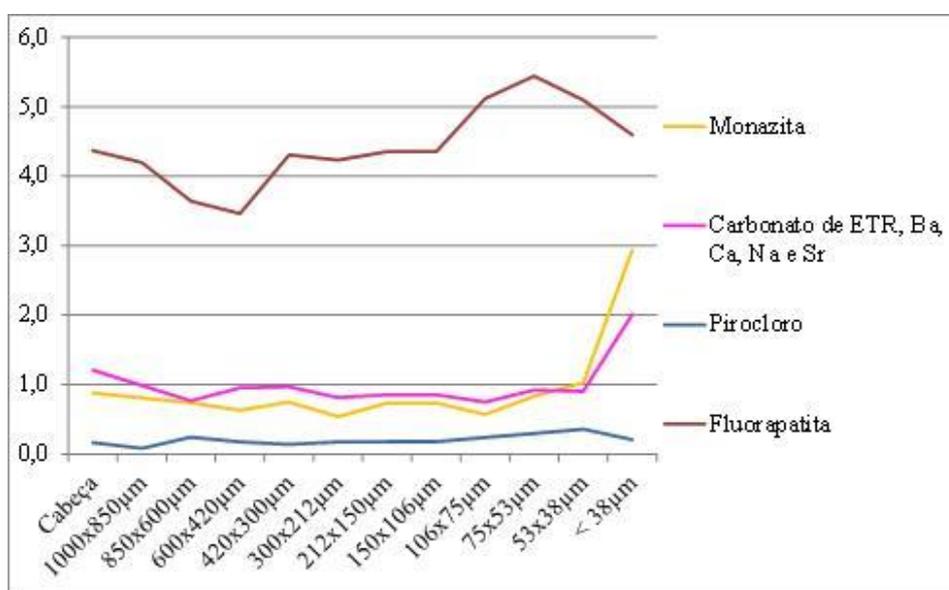


Figura 2: Quantificação das fases minerais pelo método de Rietveld mostrando a distribuição de minerais nos diferentes intervalos granulométricos (% de massa).

A monazita é o principal mineral carreador de elementos terras raras da amostra, contendo mais de 90% do Ce, La e Nd presentes no material estudado, enquanto kukharenkoita, fluorapatita, carbocernaita, e minerais do grupo do pirocloro contêm porcentagens menores destes elementos. O teor de monazita na amostra, medido por MLA, é de 2,94%.

Observação qualitativa da monazita ao MEV demonstra que o mineral em geral é fino (Figura 3). A avaliação do espectro de liberação da monazita (Figura 4) mostra que o mineral ocorre fortemente disseminado na matriz de ganga, e em partículas de baixo teor. Abaixo de 150 μm começam a se destacar partículas de monazita de mais alto teor (>60%), e monazita liberada. A ganga, por outro lado, libera ao longo de toda a faixa de tamanho avaliada, e é relativamente boa na mais fina (53x38 μm).

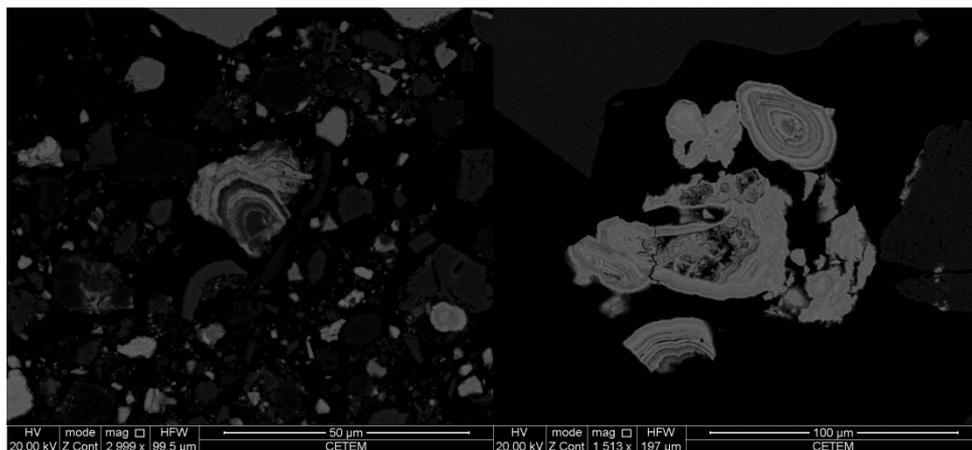


Figura 3: Monazita. Imagem de elétrons retroespalhados.

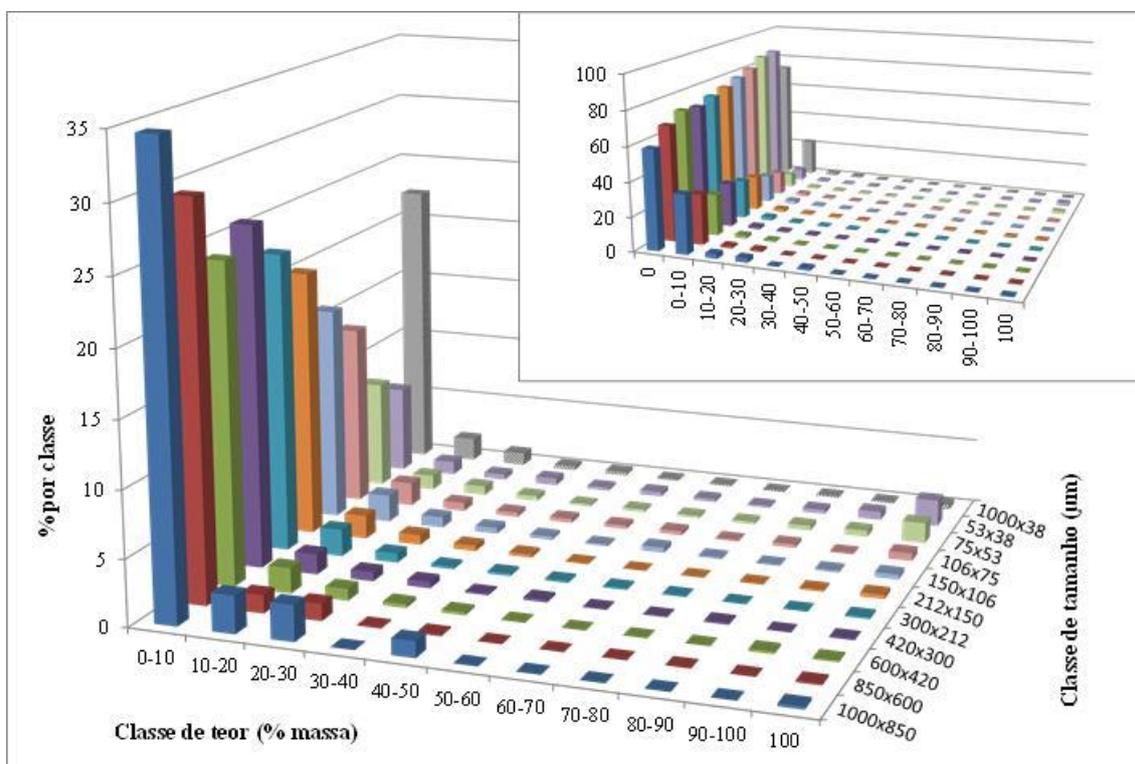


Figura 4: Espectro de liberação de monazita, condicional por tamanho.

5. CONCLUSÕES

As análises mostraram que o principal mineral carreador de elementos terras raras é a monazita, que apresenta melhor liberação nas frações de granulometria menor que 150 µm. Outros minerais carreadores são kukharenkoita, fluorapatita, carbocernaita e minerais do grupo do pirocloro. Os elementos terras raras presentes na amostra foram Ce, La e Nd, que estão concentrados nas frações abaixo de 75µm.

6. AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao CNPq pela bolsa de iniciação científica, aos meus orientadores Reiner Neumann e Felipe Emerson André Alves pela oportunidade de aprendizado e pela paciência e ao CETEM e à toda equipe do laboratório pelo suporte.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- OLIVEIRA, Í. L.; BROD, J. A.; CORDEIRO, P. F. O.; DANTAS, E. L.; MANCINI, L. H. **Insights into the late-stage differentiation processes of the Catalão I carbonatite complex in Brazil: New Sr–Nd and C–O isotopic data in minerals from niobium ores.** *Lithos*, v.274, p. 214-224, 2017.
- WENG, Z.; JOWITT, S. M.; MUDD, G. M.; HAQUE, N.A **Detailed Assessment of Global Rare Earth Element Resources: Opportunities and Challenges.** Society of Economic Geologists, Inc. *Economic Geology*, v.110, pp.1925-1952, 2015.