



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 540

**MICROMORFOLOGIA, MINERALOGIA E GEOQUÍMICA
DA BAUXITA NODULAR DE TROMBETAS – PA**

Dissertação apresentada por:

JOSÉ DIOGO DE OLIVEIRA LIMA

Orientador: Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa (UFPA)

**BELÉM
2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L732m Lima, José Diogo de Oliveira
 Micromorfologia, mineralogia e geoquímica da bauxita nodular de Trombetas - PA /
 José Diogo de Oliveira Lima. — 2018
 xvii, 63 f. : il. color

 Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (),
 Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.
 Orientação: Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa

 1. Bauxita - Trombetas (PA). I. Costa, Marcondes Lima da, *orient.* II. Título

CDD 549.53098115



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**MICROMORFOLOGIA, MINERALOGIA E GEOQUÍMICA
DA BAUXITA NODULAR DE TROMBETAS – PA**


Dissertação apresentada por

JOSÉ DIOGO DE OLIVEIRA LIMA

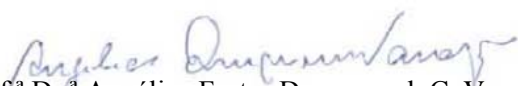
**Como requisito parcial à obtenção de Grau de Mestre em Ciências na Área de GEOQUÍMICA
E PETROLOGIA.**

Data de Aprovação: 18 / 10 / 2018

Banca Examinadora:


Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa
(Orientador – UFPA)


Prof.ª Dr.ª Adriana Maria C. Horbe
(Membro – UnB)


Prof.ª Dr.ª Angélica Fortes Drummond C. Varajão
(Membro – UFOP)

A Deus,

Por ser meu porto seguro em todos os momentos da minha vida;

A minha esposa, Clauciane Lima,

A quem devo grande parte das minhas conquistas;

Aos meu pais, Manoel Elizeu Lima e Maria Jezuíta Lima,

Por todo apoio necessário para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Marcondes Lima da Costa pelo valioso apoio irrestrito como orientador para o desenvolvimento deste trabalho; pelos recursos financeiros e acesso aos laboratórios do GMGA para realização das análises;

Ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG) da Universidade Federal do Pará (UFPA) pelo suporte necessário para realização deste trabalho;

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001;

Aos professores Drs. Cláudio Lamarão e Roberto Vizeu Lima Pinheiro pelo apoio na emissão das cartas de referência;

A Mineração Rio do Norte pela oportunidade de desenvolver este trabalho em suas frentes de lavra e pelo apoio dado na logística, nas atividades de campo bem como na realização de algumas análises químicas. Em especial aos geólogos Marco Monteiro e Keila Gomes e aos técnicos Mario Pantoja e Francisco Frazão;

Aos responsáveis pela Oficina de Preparação de Amostra – OPA (Prof. Dr. Candido Moura); Oficina de Laminação (Prof.^a MSc. Vania Barriga, téc. Joelma Lobo e téc. Bruno Veras); Laboratório de Mineralogia, Geoquímica e Aplicações (Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa); Laboratório de Sedimentologia (Prof. Dr. Afonso Nogueira e téc. Everaldo Cunha); Laboratório de Microanálises (Prof. Dr. Cláudio Lamarão e téc. Gisele Marques);

Aos meus irmãos José Ítalo Lima e Raquel Lima pelo apoio, companheirismo e amizade de sempre;

A avó da minha esposa Jaci Alcântara e a minha sogra Claudeci Pontes por toda ajuda e disponibilidade;

Aos amigos da Grupo de Mineralogia e Geoquímica Aplicada (GMGA), em especial ao Pablio Santos, Suyanne Flávia Rodrigues, Glayce Jholy, Daiveson Abreu, Igor Barreto, Prof.^a Roseane Norat, Rayara Silva, Priscila Gozzi, Karine Pastana, Darilena Porfírio, Vitor Moura, Paulo Ronny, Laís Aguiar, Alini Silva e Leonardo Negrão pelo apoio e companheirismo;

A todos que colaboraram direta ou indiretamente para realização deste ideal.

RESUMO

Os principais depósitos de bauxita do Brasil estão concentrados na região Amazônica, especificamente no estado do Pará. As três principais minas estão localizadas em Trombetas, Paragominas e Juruti e respondem por 85% da produção de brasileira de bauxita. Mesmo com o cenário mineral favorável ao Brasil e principalmente ao estado do Pará, já existem empresas que para se manterem competitivas no mercado atual, estão buscando desenvolver estudos de caracterização e de aproveitamento da bauxita nodular nesse tipo de depósito, minério até o momento considerado como marginal, isto é, minério de baixo teor na indústria mineral. Neste contexto, este trabalho buscou avaliar a bauxita nodular dos depósitos de Trombetas, a partir de suas características texturais, mineralógicas e químicas como possível minério de alumínio. Em campo, foram descritos sete perfis litológicos expostos nas frentes de lavra das minas Bela Cruz e Monte Branco pertencentes à Mineração Rio do Norte. Em seguida foram coletadas 19 amostras, as quais foram descritas, fotografadas e preparadas para análises mineralógicas e químicas. As fases mineralógicas foram identificadas por Difração de Raios X (DRX) e Microscopia Eletrônica de Varredura acoplada a Sistema de Energia Dispersiva (MEV/EDS). Os aspectos texturais envolveram a microscopia ótica e Microscopia Eletrônica de Varredura acoplada a Sistema de Energia Dispersiva (MEV/EDS). As análises químicas foram realizadas por Espectrômetro de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES), Espectrômetro de Massa com Plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), Fluorescência de Raios X (FRX), titulometria e gravimetria. Os perfis investigados compreendem da base para o topo o horizonte bauxítico (HBX) que é representado por concreções gibbsíticas envolvidas por matriz argilosa. O horizonte nodular bauxítico sobreposto subdividido em HBNB, HBNI e HBNT é formado por nódulos gibbsíticos, de textura fina, que imprime aspecto maciço e porcelanado e envolvidos por matriz argilosa. A cobertura argilosa (CAR) no topo é formada por uma argila amarela, correspondente à Argila de Belterra. Nos perfis observa-se que os fragmentos $> 0,500$ e $\sim 0,500$ mm dos HBX e HBNB, HBNI e HBNT são constituídos essencialmente por gibbsita associada a caulinita, hematita e anatásio. O domínio da gibbsita nos fragmentos $> 0,500$ e $\sim 0,500$ mm dos HBNB, HBNI e HBNT apresenta um potencial da bauxita nodular como possível minério de alumínio. Entretanto os fragmentos $< 0,500$ mm, matriz argilosa dos HBX e HBNB, HBNI, HBNT e a CAR são constituídos principalmente por caulinita associada a gibbsita, hematita, quartzo e anatásio. O domínio da caulinita nos fragmentos $< 0,500$ mm dos HBNB, HBNI, HBNT dificulta considerá-los como possível minério de alumínio. Quanto aos minerais pesados (zircão, rutilo e turmalina) não se encontrou

contraste entre os horizontes e nem com a cobertura argilosa. A composição química é essencialmente constituída por SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e TiO_2 , que reforçam os principais minerais identificados e assim como estes os seus teores diferem, conforme os horizontes. As concentrações dos elementos-traço são variáveis, V, Cr, Ga, Se, Zr, Nb, Mo, Sn, Hf, Ta, W, Hg, Bi, Th e U se encontram acima da média crustal em todos os fragmentos, matriz argilosa dos HBX, HBNB, HBNT e CAR. Elementos-traço como V, Cr, Ga, Mo, Hg e Bi se correlacionam positivamente com o Fe_2O_3 (hematita e goethita). Enquanto que Nb, Sn, Hf, Ta, Th, U, se correlacionam positivamente com zircônio (zircão) e titânio (anatásio). Quando normalizados aos condritos as curvas de distribuição apresentam paralelismo entre os fragmentos, matriz argilosa dos HBX, HBNB, HBNT e CAR, com curvas que exibem anomalia de Eu, bem como um enriquecimento dos elementos terras raras pesados (ETRP) diante dos elementos terras raras leves (ETRL). Os dados obtidos nos perfis investigados das minas Bela Cruz e Monte Branco demonstram ampla similaridade com os perfis laterítico-bauxíticos nodulares com cobertura tipo Argila de Belterra encontrados na Amazônia, em que a matriz argilosa dos nódulos se assemelha textural, química (elementos maiores e traços) e mineralógica (incluindo os minerais pesados) com essa argila de cobertura.

Palavras-chave: Bauxita nodular. Gibbsita. Caulinita.

ABSTRACT

Brazil's main bauxite deposits are concentrated in the Amazon region, specifically in the state of Pará. The three main mines are located in Trombetas, Paragominas and Juruti, and they're responsible for 85% of Brazil's bauxite production. Even with the favorable mineral scenario in Brazil and especially in the state of Pará, there are already companies that are currently competitive in the current market, they are seeking to develop studies of the characterization and use of nodular bauxite in this type of deposit. The ore, so far, is considered as marginal, it means low-grade ore in the mineral industry. In this context, this work sought to evaluate Trombetas deposits' nodular bauxite from their texture, mineralogical and chemical characteristics as a possible aluminum ore. In the field, seven lithographic profiles were described on the mining fronts of Bela Cruz and Monte Branco mines belonging to 'Mineração Rio do Norte'. Then, 19 samples were collected, which were described, photographed and prepared for mineralogical and chemical analyzes. The mineralogical phases were identified by X-ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy coupled to the Dispersive Energy System (SEM/EDS). The textural aspects involved optical microscopy and Scanning Electron Microscopy coupled to the Dispersive Energy System (SEM/EDS). The chemical analyzes were performed by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES), Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (ICP-MS), X-ray Fluorescence (XRF), titulometry and gravimetry. The profiles investigated comprise from the base to the top the bauxite horizon (HBX) which is represented by gibbsite concretions surrounded by a clay matrix. The overlapped bauxite nodular horizon subdivided into HBNB, HBNI and HBNT, is formed by gibbsitic nodules, of fine texture, that impresses solid and porcelanate aspect and they are surrounded by a clayey matrix. The clay cover (CAR) at the top is formed by a yellow clay, corresponding to Belterra Clay. In the profiles, the fragments > 0.500 and ~ 0.500 mm of the HBX and HBNB, HBNI and HBNT are essentially composed of gibbsite associated with kaolinite, hematite and anatase. The dominance of gibbsite in the fragments > 0.500 and ~ 0.500 mm of the HBNB, HBNI and HBNT, presents a potential of nodular bauxite as a possible aluminum ore. However the fragments < 0.500 mm, clayey matrix of HBX and HBNB, HBNI, HBNT and CAR are mainly composed of kaolinite associated with gibbsite, hematite, quartz and anatase. The kaolinite domain in the HBNB, HBNI, HBNT fragments < 0.500 mm, makes it difficult to consider them as possible aluminum ore. As for the heavy minerals (zircon, rutile and tourmaline), no contrast was found between the horizons and the clayey cover. The chemical composition consists essentially of SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 and TiO_2 , which reinforce the

main minerals identified and as these the contents differ according to the horizons. The concentrations of the trace elements are variable, V, Cr, Ga, Se, Zr, Nb, Mo, Sn, Hf, Ta, W, Hg, Bi, Th and U are above the crustal average in all fragments, clayey matrix of HBX, HBNB, HBNT and CAR. Trace elements such as V, Cr, Ga, Mo, Hg and Bi correlate positively with Fe_2O_3 (hematite and goethite). While Nb, Sn, Hf, Ta, Th, U, correlate positively with zirconium (zircon) and titanium (anatase). When normalized to the chondrites, the distribution curves present parallelism between the various fragments, clayey matrix of HBX, HBNB, HBNT and CAR, with curves that exhibit Eu anomaly, as well as an enrichment of the heavy rare earth elements (HREE) in front of the light rare earths elements (LREE). The data obtained in the investigated profiles of Bela Cruz and Monte Branco mines demonstrate broad similarity to Belterra clay-type nodular lateritic-bauxite profiles found in Amazon, where the clayey matrix of the nodules resembles textural, chemical (larger elements and traces) and mineralogical (including heavy minerals) with this covering clay.

Keywords: Nodular bauxite. Gibbsite. Kaolinite.