



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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 566

**MINERALOGIA E GEOQUÍMICA DE BAUXITAS DE BARRO
ALTO (GOIÁS): CONSIDERAÇÕES GENÉTICAS**

Dissertação apresentada por:

VITOR HUGO SANTANA MOURA

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

**BELÉM
2019**

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)

M929m Moura, Vitor Hugo Santana
 Mineralogia e geoquímica de bauxitas de Barro Alto (Goiás) : considerações
 genéticas / Vitor Hugo Santana Moura. — 2019.
 xviii, 64 f. : il. color.

 Orientador(a): Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa Dissertação
 (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em
 Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do
 Pará, Belém, 2019.

 1. Bauxita - Barro Alto (GO). 2. Mineralogia - Goiás. 3. Gibbsita. 4.
 Caulinita. 5. Halloysita. I. Título.

CDD 333.85492614



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

**MINERALOGIA E GEOQUÍMICA DE BAUXITAS DE BARRO
ALTO (GOIÁS): CONSIDERAÇÕES GENÉTICAS**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR
VITOR HUGO SANTANA MOURA**


**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de
GEOLOGIA E GEOQUÍMICA, linha de pesquisa MINERALOGIA E GEOQUÍMICA**

Data de Aprovação: 01 / 10 / 2019

Banca Examinadora:


Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa
Orientador – UFPA


Prof.ª Dr.ª Adriana Maria Coimbra Horbe
Membro – UnB


Prof. Dr. Rômulo Simões Angélica
Membro – UFPA

*Agradeço primeiramente a Deus,
Por ter me dado discernimento e saúde para enfrentar as dificuldades;
Aos meus pais, Maria do Rosário Santana Moura e Raimundo de Souza Moura,
Por terem me preparado para os desafios da vida e sempre acreditarem em mim;
Por não medir esforços para me proporcionar uma boa educação;
Pelas palavras de incentivo e orientações de vida;
Pelo amor incondicional.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, professor Dr. Marcondes Lima da Costa, pela proposição do tema e por acreditar em meu potencial para desenvolvê-lo, assim como pelo esforço em proporcionar os recursos e matérias necessários ao desenvolvimento deste trabalho. Bem como as lições de vida, paciência e orientações ao longo desta dissertação, meu muito obrigado;

Ao Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG) da Universidade Federal do Pará (UFPA) pela a infraestrutura laboratorial e pelos recursos financeiros;

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

Agradeço ao Geólogo Gustavo Guerra (EDEM Mineração) e ao consultor técnico Geólogo Tadeu Veiga, pelo auxílio nas etapas de campo, laboratorial, apoio logístico, dados e relatórios internos, meu muito obrigado e admiração por vocês e por esta empresa que me deu todo o suporte para este trabalho.

Aos professores e técnicos do Instituto de Geociências (IG) responsáveis pela Oficina de Preparação de Amostras (Prof.^a Candido Moura); Oficina de Laminação (Prof.^a Vania Barriga, téc. Joelma Lobo e téc. Bruno Veras); Laboratório de Sedimentologia (Prof. Afonso Nogueira e téc. Everaldo Cunha); Laboratório de Microanálises (Prof. Dr. Cláudio Lamarão, téc. Gisele Marques e téc. Ana Paula); e Laboratório de Mineralogia Geoquímica e Aplicações (Prof. Marcondes Lima da Costa e Glayce Valente);

Aos amigos que me acolheram tão bem no Grupo de Mineralogia e Geoquímica Aplicada (GMGA) da UFPA, especialmente ao Paulo Ronny, Karine Santos, Daiveson Abreu, Pablio Santos, José Diogo, Priscila Gozzi, Igor Barreto, Leonardo Boiadeiro, Laís Aguiar, Rayara Silva, Allan Dias, Suyanne Rodrigues, Gisele Marques, Alessandro Leite, Rose Norat, Darilena Porfirio e Glayce Valente, pelo companheirismo e suporte;

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a execução e conclusão deste trabalho.

“Ama-se mais o que se conquista com esforço”

Benjamin Disraeli

RESUMO

No município de Barro Alto, Goiás, um depósito de bauxita foi desenvolvido, em sua maior parte, sobre anortositos de idade Neoproterozoica. Segundo os dados recentes publicados o modo geral de ocorrência reforça a origem laterítica, visto que a bauxita acompanha a atual superfície topográfica. No entanto, a sucessão de horizontes não corresponde a este modelo, ao menos parcialmente. A ausência ou dimensão restrita do horizonte argiloso com caulinita, ou ainda a presença de corpos de caulinita seccionando o corpo bauxítico, que atinge localmente grandes espessuras, desequilibram o modelo laterítico simples. Isso é reforçado pela ausência da clássica crosta ferro-aluminosa tipo pele-de-onça ou assemelhada e ausência de outra cobertura. Para aqueles autores a ampla ocorrência de gibbsita macrocristalina, botrioidal, extensiva, aparentemente ocupando vênulas e paredes de fraturas, o que sugere ao lado da diversidade de modo de ocorrência de argilas, uma contribuição de outro processo, que não somente a lateritização. A partir destas informações foi elaborado um estudo para aprofundar o conhecimento sobre a formação da bauxita de Barro Alto, detalhando as gerações de gibbsita e caulinita, bem como tentar identificar as contribuições lateríticas e hidrotermais a partir desses minerais. Em campo, foram estudadas 5 lavras exploradas pela empresa EDEM – Mineração LTDA, (Lavra 1, Lavra 2, Lavra 5, Lavra 6 e a trincheira SELA), destas 5 lavras foi realizado um maior detalhamento nas lavras 1, 2, 5 e SELA. Onde foram coletadas 48 amostras, destas selecionou-se 22 mais representativas para análises laboratoriais que envolveram caracterização mineralógica (Difratometria de Raios X); textural (Microscopia Óptica e Eletrônica de Varredura); e química (Espectrometria de Massa e de Emissão Óptica, com Plasma Indutivamente Acoplado). Em termos gerais o perfil bauxítico em Barro Alto compreende o anortosito como substrato e possível rocha geradora, sobre o qual se estabeleceram o horizonte bauxítico poroso (HBP) com *stockworks* e veios de caulim flint (CF), localmente com cristais subcentimétricos de coríndon (HBPC), convergindo para uma zona argilosa bauxítica (ZAB) e então o horizonte bauxítico maciço (HBM). Este por sua vez é sobreposto por capeamento formado de blocos e nódulos centimétricos a decamétricos de bauxita maciça (HBANB), cujo modo de ocorrência sugere formação coluvionar. Nos perfis observa-se que os horizontes HBP, HBPC, HBM e HBANB são constituídos essencialmente por gibbsita e caulinita, contendo por vezes minerais acessórios como o coríndon HBPC, seguidos de hematita e goethita. Já no CF e na zona argilosa bauxítica ZAB o mineral dominante é a caulinita e/ou halloysita, seguido de gibbsita. A composição química do perfil bauxítico é composta basicamente por Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 . As concentrações de CaO , MgO , K_2O , MnO , Na_2O e P_2O_5 são muito baixas (em geral $< 0,09$), até mesmo abaixo do limite de detecção analítica. Os teores de TiO_2 também são relativamente baixo, em geral $< 0,2$ %. As concentrações dos elementos traços quando comparadas com os

valores médios da Crosta Superior da Terra (CST) se mostram em geral em valores muito baixos. As concentrações de elementos como Cr, Co, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Cs, Ba, Hf, Pb, Th e U estão em níveis inferiores a CST em todos os horizontes. Apenas Mo apresenta valores mais concentrados em todos os horizontes. Por outro lado, a V, Ni, Cu, Cr, Ga, e Pb que podem apresentar eventualmente valores superiores mais especificamente, porém apenas em parte no CF e ZAB. As concentrações dos elementos terras raras (ETR) estão abaixo da média crustal em todas as amostras estudadas e também do anortosito. As concentrações mais elevadas estão tipicamente relacionadas às unidades mais argilosas com CF, ZAB e também a presença dos oxi-hidróxidos de Fe (HBPC). Quando normalizados aos condritos, as curvas exibem padrão de distribuição ligeiramente semelhante entre si, exceto para a bauxita porosa com coríndon. Observa-se sutil enriquecimento em ETRL e tendência aos pesados, mas apenas de Tm ao Lu. Esse comportamento se assemelha ao do anortosito, apenas com concentrações bem mais baixas, com exceção do Tm. É nítida as anomalias negativas em Ce e positiva em Tm, anomalias atreladas ao empobrecimento dos ETRL e ligeiro enriquecimentos dos ETRP. A partir desses dados mineralógicos e químicos foi possível distinguir três gerações distintas de gibbsita e caulinita: Gibbsita (I) do horizonte bauxítico poroso, que parece ser aquela formada diretamente dos plagioclásios e almandina; Gibbsita (II) está associada ao caulim flint, portanto a caulinita, halloysita e mesmo localmente hematita; Gibbsita (III) macrocristalina coesa, por vezes drúsica e sobreposta a gibbsita mais fina e compacta, de aspecto botrioidal. Ela forma corpos isolados, aparentemente desconectados do conjunto maior de bauxitas, em bolsões de dezenas de metros de largura e profundidades superiores a 40 m; Caulinita (I) na interface gibbsita - anortosito. Essa caulinita constitui as auréolas de alteração do anortosito, quando este não passa direto para gibbsita; Caulinita (II) corresponde aquela do caulim flint ou simplesmente caulim, associada à halloysita e por vezes gibbsita e ocorrendo sob a forma de vênulas, veios e bolsões e zonas fraturadas verticalizadas, os *stockworks* em geral; Caulinita (III) corresponde àquela encontrada principalmente no horizonte bauxítico argiloso com nódulos, em que esse mineral se apresenta em massa amarelada, terrosa, invadindo a massa bauxítica e envolvendo os nódulos centimétricos a decamétricos. As gerações de gibbsita, I, II e III, principalmente II e III não são compatíveis com evolução laterítica, da mesma forma as gerações de caulinita, I, II, e III, em que I e II não são claramente intempéricas lateríticas, e a III parece ser pedogenética atual a sub-atual. Pelo exposto provavelmente as bauxitas de Barro Alto sejam produto principalmente de intensa atividade hidrotermal subsuperficial dos anortositos por conta da forte deformação estrutural a que foram submetidas essas rochas em seus estágios finais pós-emplacement.

Palavras-chave: Bauxita - Goiás. Mineralogia - Goiás. Gibbsita. Caulinita. Halloysita.

ABSTRACT

In the municipality of Barro Alto, Goiás, a bauxite deposit was developed, mostly, on Neoproterozoic anorthosites. According to recent published data, the general mode of occurrence reinforces the lateritic origin, since bauxite follows the current topographic surface. However, the succession of the horizons is not corresponding to the others of the lateritic model, at least partially. The absence or restricted size of the clay horizon with kaolinite, or the presence of kaolinite bodies sectioning the bauxitic body, which locally reaches large thicknesses, overturn the simple lateritic model. This is reinforced by the absence of the classic leopard skin-like pattern or similar iron-aluminous crust and the absence of other coverage. For various authors the wide occurrence of extensive macrocrystalline, botrioidal gibbsite, apparently occupying venules and fracture walls suggests, along with the diversity of the way of occurrence of clays, a contribution of another process, not only lateritization. From this information a study was elaborated to deepen the knowledge about the formation of the Barro Alto bauxite, detailing the generations of gibbsite and kaolinite, as well as to try to identify the lateritic and hydrothermal contributions with these minerals. In the field, 5 mines explored by the company EDEM - Mineração LTDA were studied (Mining 1, Mining 2, Mining 5, Mining 6 and the SELA trench). From these mines, a greater detail was made in mines 1, 2, 5 and in SELA trench. Forty-eight samples were collected from which 22 most representative samples were selected for laboratory analysis involving mineralogical (X-ray Diffractometry), textural (Optical and Scanning Electron Microscopy), and chemistry (Inductively Coupled Plasma Mass and Optical Emission Spectrometry) characterization. In general, the bauxitic profile of Barro Alto comprises the anorthosite as substrate and possible source rock, on which a porous bauxite horizon (HBP) with stockworks and flint-type veins of kaolin (CF), and locally with subcentimeter corundum crystals (HBPC) was established. They converge to a bauxitic clay zone (ZAB) and then to a massive bauxite horizon (HBM). This in turn is superimposed by a capping formed by centimetric to decametric blocks and nodules of massive bauxite (HBANB), whose occurrence suggests a colluvial formation. In the profiles the horizons HBP, HBPC, HBM and HBANB consist essentially of gibbsite and kaolinite, sometimes containing accessory minerals such as corundum (HBPC), followed by hematite and goethite. In CF and in the bauxite clay zone (ZAB) the dominant mineral is kaolinite and/or halloysite, followed by gibbsite. The chemical composition of the bauxitic profile is basically composed of Al_2O_3 , SiO_2 and Fe_2O_3 . CaO , MgO , K_2O , MnO , Na_2O and P_2O_5 concentrations are very low (generally <0.09), even below the analytical detection limit. TiO_2 contents are also relatively low, generally $<0.2\%$. Trace element concentrations when compared to the average values of the Earth's Upper Crust (EUC) are generally very low. The concentrations

of elements such as Cr, Co, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Cs, Ba, Hf, Pb, Th and U are below EUC in all horizons. Only the element Mo has more concentrated values in all horizons. On the other hand, V, Ni, Cu, Cr, Ga, and Pb may eventually have higher values especially in some parts of CF and ZAB. Rare Earth Element (REE) concentrations are below the crustal average in all samples studied and also in the anorthosite. The higher concentrations are typically related to the clayey units such as CF and ZAB, and also to the presence of Fe oxides-hydroxides (HBPC). When normalized to the chondrites, the curves exhibit a slightly similar distribution pattern except for porous bauxite with corundum. There is a slight LREE enrichment and a HREE tendency, but only from Tm to Lu. This behavior resembles that of anorthosite, but with much lower concentrations, except for Tm. It is clear the negative anomalies in Ce and positive in Tm, anomalies linked to LREE depletion and a slight enrichment of HREE. From these mineralogical and chemical data, it was possible to distinguish three distinct generations of gibbsite and kaolinite: Gibbsite (I): of the porous bauxitic horizon, which appears to be that formed directly from the plagioclase and almandine; Gibbsite (II): associated with flint kaolin, along with kaolinite, halloysite and even locally hematite; Gibbsite (III): Cohesive and macrocrystalline, sometimes drusic and overlapping the thinner and more compact botryoidal gibbsite. It forms isolated bodies, apparently disconnected from the larger set of bauxites, in pockets of tens of meters wide and depths greater than 40 m; Kaolinite (I) at the gibbsite - anorthosite interface. This kaolinite makes up the halos of anorthosite alteration, when it does not go straight to gibbsite; Kaolinite (II) corresponds to that of flint kaolin, associated with halloysite and sometimes gibbsite. It occurs in the form of venules, veins and pockets, and vertical fractured zones, the stockworks in general. Kaolinite (III) corresponds to that found mainly in the clayey bauxite horizon with nodules, in which this mineral is yellowish, earthy, invading the bauxite mass and involves the centimetric to decametric nodules. The generations of gibbsite, I, II and III, especially II and III, are not compatible with lateritic evolution, likewise the kaolinite, I, II, and III generations, where I and II are not clearly lateritic, and the III seems to be current pedogenetic. Therefore, it is likely that Barro Alto bauxites are the product of the intense subsurface hydrothermal activity of anorthosites, due to the strong structural deformation in which these rocks were subjected in their final post-emplacement stages.

Keywords: Bauxite - Goiás. Mineralogy – Goiás. Gibbsite. Kaolinite. Halloysite.