



**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

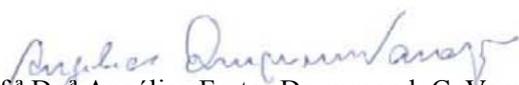
**Como requisito parcial à obtenção de Grau de Mestre em Ciências na Área de GEOQUÍMICA
E PETROLOGIA.**

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 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ and TiO₂, 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.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1- Mapa de localização dos depósitos de bauxita da região de Trombetas/Terra Santa com indicação das áreas de estudo. Fonte: Elaborado pelo autor. 3
- Figura 2- O perfil laterítico bauxítico simplificado em Trombetas mostrando os horizontes identificados e a distribuição dos principais minerais (Sugden 1984). 5
- Figura 3- Mapa geológico simplificado da região de domínio dos depósitos de bauxitas de Trombetas, com destaque para a Cobertura Laterítica Madura, que envolve as bauxitas e a Formação Alter do Chão (Modificado de CPRM 2008). 6
- Figura 4- Localização dos perfis investigados e amostrados nas minas Monte Branco e Bela Cruz da Mineração Rio do Norte. 9
- Figura 5- Fluxograma dos procedimentos de preparação e das análises realizadas. 10
- Figura 6- Paisagem da região de domínio das bauxitas de Trombetas, indicando as duas minas Monte Branco e Bela Cruz, em que se destacam os platôs, o relevo rebaixado e o padrão de drenagem subdendrítica, vista através do modelo digital de elevação gerado a partir de dados SRTM em Trombetas, Pará, sob jurisdição da Mineração Rio do Norte. 13
- Figura 7- Perfis laterito-bauxíticos investigados nas frentes de lavra das minas Bela Cruz e Monte Branco em Porto Trombetas – PA. 14
- Figura 8- A) Aspecto geral da bauxita do horizonte bauxítico (HBX) exibindo uma coloração rosa clara a vermelho amarronzado. B) Detalhe dessa bauxita com feição nodular mantendo estrutura colunar. O núcleo (à esquerda) é marrom avermelhado e a borda rosa clara de aspecto argiloso. 15
- Figura 9- Constituição mineralógica do horizonte bauxítico (HBX) obtida por DRX. A) Parte interna da concreção, dominada por gibbsita, além de caulinita, hematita e anatásio. B) Matriz argilosa em que predomina a caulinita, gibbsita, hematita e ainda anatásio. Gibbsita (Gbs); caulinita (Kln); hematita (Hem); anatásio (Ant). 16

- Figura 10- Fotomicrografia dos nódulos de gibbsita microcristalina de marrom claro envolvidos pelo plasma também gibbsítico criptocristalino marrom escuro, luz natural (A) e nicóis cruzados (B). Fragmento de concreção do HBX em que a zona em cinza escuro corresponde à gibbsita com caulinita associada (C). A zona mais clara representa à hematita com gibbsita e caulinita associados (D). E) Gibbsita mesocristalina encontrada nas cavidades com forma pseudo-hexagonal. F) Mesocristais subédricos de gibbsita intercrescidos preenchendo as cavidades. 17
- Figura 11- A) Exposição da CAR (Argila de Belterra) e dos HBNB (Horizonte bauxítico nodular base), HBNI (Horizonte bauxítico nodular intermediário) e HBNT (Horizonte bauxítico nodular topo). B), C) e D) Nódulos bauxíticos dos respectivos horizontes que preservam textura tipo crosta ferroaluminosa esferolítica com cimento microcristalino de gibbsita. 18
- Figura 12- Constituição mineralógica dos HBNB, HBNI e HBNT obtida por DRX. A) Permite verificar que os nódulos dos respectivos horizontes são constituídos essencialmente de gibbsita com caulinita, hematita e anatásio subordinados. B) Matriz argilosa dos nódulos desses horizontes com domínio da caulinita, com gibbsita, hematita e anatásio subordinados. Gibbsita (Gbs); caulinita (Kln); hematita (Hem); anatásio (Ant). 19
- Figura 13- Fotomicrografia do plasma gibbsítico criptocristalino micro cavernoso de cor marrom claro a marrom escuro em luz natural (A). idem sob nicóis cruzados, em que grande parte das cavidades estão ocupadas por gibbsita microcristalina (B). C) Fragmento de nódulo do HBNB em que a zona em tom cinza escuro é dominada por gibbsita com caulinita restrita. (D) Mesocristais subédricos de gibbsita. (E) Mesocristais euédricos de gibbsita com hematita manométrica formando agregados micrométricos envolvendo cavidades. 20
- Figura 14- Fotomicrografia do plasma gibbsítico criptocristalino micro cavernoso de cor marrom claro a marrom escuro em luz natural (A). idem sob nicóis cruzados, em que grande parte das cavidades estão ocupadas por gibbsita microcristalina (B). C) Imagem e espectro analítico de MEV/EDS de fragmento de nódulo do HBNI dominado por gibbsita e muito pouco por caulinita. 21
- Figura 15- (A) Detalhe de agregados de cristais placosos de gibbsita microcristalina. (B) Detalhe de cristais pseudo-hexagonais de gibbsita microcristalina em cavidades. 22

- Figura 16- Fotomicrografia de micronódulo gibbsítico ligeiramente zonado concêntrico em meio ao plasma gibbsítico criptocristalino, luz natural (A). Fotomicrografia do mesmo nódulo ressaltando as fissuras e ainda venulações irregulares gibbsíticas no plasma gibbsítico, nicóis cruzados (B). Fotomicrografia de micronódulo hematítico no interior de nódulo gibbsítico microcristalino marrom e por sua vez em plasma gibbsítico criptocristalino de cor marrom claro, luz natural (C); situação anterior, nicóis cruzados, ressaltando as venulações gibbsíticas no plasma (D). E) Plasma formado por gibbsita criptomicrocristalina com caulinita associada. F) Detalhe mostrando dos cristais subédricos de gibbsita microcristalina com caulinita associada encontrados em cavidades do plasma. 23
- Figura 17- Fragmento de nódulo do HBNT em que observa o domínio de gibbsita na massa compacta à esquerda e de caulinita e gibbsita na zona microbrechada à direita..... 24
- Figura 18- Fragmento de nódulo HBNT em que a zona cinza claro representa o domínio de hematita com caulinita, e cinza mais escuro essencialmente gibbsita e muito pouco caulinita. 24
- Figura 19- Amostra da cobertura argilosa (CAR) exibindo o aspecto grumoso. 25
- Figura 20- Constituição mineralógica da cobertura argilosa (CAR), obtida por DRX, mostrando o domínio da caulinita, gibbsita, tendo hematita, quartzo e anatásio subordinados. Gibbsita (Gbs); caulinita (Kln); hematita (Hem); quartzo (Qtz); anatásio (Ant)..... 25
- Figura 21- A) Fotomicrografia do nódulo irregular de gibbsita microcristalina de cor marrom claro envolvidos pelo plasma caulínítico criptocristalino marrom escuro, luz natural (A) e nicóis cruzados (B). C) Massa caulínítica criptocristalina. 26
- Figura 22- Fragmentos da argila da CAR em que a zona em tom de cinza localizada na parte de superior do lado esquerdo (sem fissuras) corresponde à gibbsita com caulinita subordinada (A). A zona branca irregular é composta essencialmente por gibbsita com hematita e ainda caulinita restrita. (B). A zona com cinza escuro (com fissuras) representa o domínio da caulinita (C). 27
- Figura 23- Constituição mineralógica das frações granulométricas (0,500, 0,500 – 0,250 0,250 – 0,125 e 0,125 – 0 ,063 mm) dos HBNT (C), HBNI (B) e HBNT (A) das minas Bela Cruz e Monte Branco, obtida por. Gibbsita (Gbs); caulinita (Kln); hematita (Hem); quartzo (Qtz); anatásio (Ant). 28

Figura 24- Diagrama ternário $Al_2O_3 - SiO_2 - Fe_2O_3$ mostrando a variação química ao longo dos horizontes dos perfis das minas Bela Cruz e Monte Branco conforme o tamanho dos fragmentos, a matriz e a CAR.	40
Figura 25- Classificação das amostras dos perfis estudados, com base nos teores de Al_2O_3 , SiO_2 e Fe_2O_3 segundo a classificação de Bardossy (1982).	41
Figura 26- Análise de agrupamento das amostras pertencentes aos perfis das minas Bela Cruz e Monte Branco.	42
Figura 27- Comparação química entre as diferentes frações granulométricas (0,500, 0,500 – 0,250, 0,250 – 0,125, 0,125 – 0,063 mm) do HBNB do perfil 4 obtidas por peneiramento à úmido.	43
Figura 28- Distribuição das concentrações dos elementos-traço normalizados pela média da crosta superior da Terra (Rudnick & Gao 2003).	44
Figura 29- Diagramas de dispersão mostrando a correlação positiva entre Fe_2O_3 com alguns elementos-traço e correção com Al_2O_3 . (A) $Fe_2O_3 \times V$; (B) $Fe_2O_3 \times Cr$; (C) $Fe_2O_3 \times Ga$; (D) $Fe_2O_3 \times Mo$; (E) $Fe_2O_3 \times Bi$; $Fe_2O_3 \times Al_2O_3$	45
Figura 30- Diagramas de dispersão mostrando a correlação positiva entre Zr e alguns elementos-traço e TiO_2 . (A) $Zr \times Nb$; (B) $Nb \times Sn$; (C) $Nb \times Hf$; (D) $Zr \times Ta$; (E) $Zr \times Th$; (F) $Zr \times U$; (G) $Zr \times TiO_2$; (H) $Zr \times \sum ETR$	47
Figura 31- Diagramas de dispersão mostrando a correlação positiva entre TiO_2 com alguns elementos-traço (A) $TiO_2 \times Ta$; (B) $TiO_2 \times Nb$; (C) $TiO_2 \times Y$; (D) $TiO_2 \times \sum ETR$	48
Figura 32- Análise de agrupamento dos dados dos elementos químicos dos perfis das minas Bela Cruz e Monte Branco.	49
Figura 33- Padrão de distribuição dos ETR normalizados em relação aos condritos de Wedepohl (1995) nas amostras dos HBX, HBNB, HBNI, HBNT, matriz argilosa e CAR dos perfis investigados.	50
Figura 34- Imagens das diferentes morfologias de grãos e cristais de zircão, rutilo e turmalina identificadas nos HBX, HBNB, HBNI, HBNT e na CAR. Imagens obtidas com microscópio ótico em luz natural.	51

- Figura 35- Distribuição composicional comparativa dos minerais pesados não opacos do perfil laterito-bauxítico e sua cobertura. 52
- Figura 36- Imagens de MEV das principais formas dos tipos zircões e respectivas possíveis morfologias de acordo com a classificação de Pupin (1980). (A, B e C) zircões da CAR; (D, E e F) zircões do HBNT; (G, H e I) zircões do HBNI; (J, K e L) zircões do HBNB; (M, N e O) zircões do HBX. 54
- Figura 37- Imagens de MEV das principais morfologias de rutilo. (A, B e C) rutilos da cobertura argilosa (CAR); (D, E e F) rutilos do HBNT; (G, H e I) rutilos do HBNI; (J, K e L) rutilos do HBNB; (M, N e O) rutilo do HBX. (1) Fraturas conchoidais; (2) Cavidades; (3) Fraturas. 56

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1- Composição química dos elementos maiores e menores (%) e traço (ppm) das amostras (fragmentos > 0,500 mm) representativas dos perfis confrontadas com a composição média da crosta continental superior segundo Rudnick & Gao (2003).
Legenda: HBX (Horizonte bauxítico); HBNB (Horizonte bauxítico nodular base); HBNI (Horizonte bauxítico nodular intermediário); HBNT (Horizonte bauxítico nodular topo)..... 31
- Tabela 2- Composição química dos elementos maiores e menores (%) e traço (ppm) das amostras (matrizes e cobertura) representativas dos perfis confrontadas com a composição média da crosta continental superior segundo Rudnick & Gao (2003).
Legenda: HBX (Horizonte bauxítico); HBNB (Horizonte bauxítico nodular base); HBNI (Horizonte bauxítico nodular intermediário); HBNT (Horizonte bauxítico nodular topo); CAR (Cobertura argilosa). 34
- Tabela 3- Composição química dos elementos maiores e menores (%) e traço (ppm) das amostras nas frações granulométricas (0,500, 0,500 – 0,250, 0,250 – 0,125, 0,125 – 0,063 mm) representativas dos perfis confrontadas com a composição média da crosta continental superior segundo Rudnick & Gao (2003). Legenda: HBX (Horizonte bauxítico); HBNB (Horizonte bauxítico nodular base); HBNI (Horizonte bauxítico nodular intermediário); HBNT (Horizonte bauxítico nodular topo)..... 37
- Tabela 4- Composição química dos elementos maiores, Alap (alumina aproveitável) e Sire (sílica reativa) das frações granulométricas (0,500, 0,500 – 0,250, 0,250 – 0,125, 0,125 – 0,063 mm) peneiradas à úmido referentes ao HBNB do perfil 4. 43

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	x
LISTA DE TABELAS	xv
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 OBJETIVO GERAL.....	2
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO À ÁREA DE ESTUDO	3
3 ESTUDOS ANTERIORES	4
3.1 REGIÃO BAUXITÍFERA AMAZÔNICA.....	4
3.2 DEPÓSITOS DE BAUXITAS DE TROMBETAS.....	5
3.3 BAUXITA NODULAR.....	6
3.4 ARGILA DE BELTERRA	7
4 MATERIAS E MÉTODOS	8
4.1 AMOSTRAGEM.....	8
4.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	10
4.3 MICROSCOPIA ÓTICA.....	11
4.4 DIFRAÇÃO DE RAIOS X.....	11
4.5 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.....	11
4.6 SEPARAÇÃO DOS MINERAIS PESADOS	12
4.7 ANÁLISES QUÍMICAS	12
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	13
5.1 ESTRUTURAÇÃO DOS PERFIS LATERITO-BAUXÍTICOS E SUA COBERTURA ARGILOSA.....	13
5.2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E MINERALÓGICA DOS HORIZONTES DAS MINAS BELA CRUZ E MONTE BRANCO.....	15
5.2.1 Horizonte Bauxítico	15
5.2.2 Horizonte Bauxítico Nodular	18

5.2.3 Cobertura Argilosa ou Argila de Belterra	24
5.3 MINERALOGIA DAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS (0,500, 0,500 – 0,250, 0,250 – 0,125, 0,125 – 0,063 mm) DOS HBNB, HBNI e HBNT DAS MINAS BELA CRUZ E MONTE BRANCO	27
6 COMPOSIÇÃO QUÍMICA.....	29
6.1 ELEMENTOS MAIORES	29
6.2 ELEMENTOS-TRAÇOS	43
7 MINERAIS PESADOS	51
8 CONCLUSÕES.....	57
REFERÊNCIAS.....	58
APÊNDICES	61
APÊNDICE A – MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE ELEMENTOS MAIORES E TRAÇO DAS AMOSTRAS DOS PERFIS INVESTIGADOS.....	62

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

As reservas mundiais de bauxita somam 30.000.000 Mt. O Brasil aparece em quarto lugar com 2.600.000 Mt. A Guiné detém a maior reserva, seguida por Austrália e Vietnã. A produção mundial de minério de alumínio (bauxita) é da ordem de 300.000 Mt e seus maiores produtores são: Austrália, China e Guiné. O Brasil também aparece em quarto lugar com produção de 36.000 Mt (USGS 2018).

No Brasil, os depósitos de bauxita estão concentrados na região Amazônica, especificamente no estado do Pará, principalmente nos municípios de Trombetas/Terra Santa/Faro/Juruti, Paragominas e Rondon do Pará/Goianésia, com três minas: Trombetas, Paragominas e Juruti. Elas respondem por 85% da produção brasileira de bauxita (Costa 2016).

As bauxitas da Amazônia são tipicamente a gibbsita, principal mineral de alumínio (Costa 2016). Os depósitos de bauxita estão em geral associados ao topo de platôs quilométricos, quase sempre capeados por uma argila amarela a vermelha, conhecida por argila de Belterra (Costa 2016). São bauxitas lateríticas formadas a partir de rochas siliciclásticas cretácicas das Formações Alter do Chão (Trombetas e Juruti) e Itapecuru/Ipixuna (Paragominas) relacionadas a bacia do Amazonas e a bacia do Grajaú, respectivamente (Costa *et al.* 2014). As três regiões citadas apresentam fortes correlações geológicas entre si, embora as bauxitas de Trombetas/Terra Santa/Faro sejam em geral muito mais espessas e de teor mais elevado em alumina aproveitável (Costa 2016).

O minério bauxita na Amazônia envolve bauxita maciça microcristalina a microporosa, que pode ser sobreposta por uma bauxita nodular criptocristalina, por vezes porcelanada, ou então a própria bauxita maciça converge para uma crosta ferruginosa (oxihidróxidos de ferro) brechóide a nodular que por sua vez converge para o topo para zona ferruginosa esferulítica e então bauxita nodular, já próximo ao contato com a argila de Belterra. São bauxitas geralmente ricas em alumina aproveitável, com relativo baixo teor de sílica reativa, porém com teores de ferro variáveis, algumas muito ricas em ferro, com características de bauxita metalúrgica (Costa 2016).

Apesar do cenário mineral favorável ao Brasil e principalmente ao estado do Pará, um dos grandes desafios das empresas de mineração é de manterem-se competitivas no mercado

atual, com reservas minerais de alta qualidade que atendam os critérios preestabelecidos dos clientes. Já existem empresas que enfrentam dificuldades para atender eficazmente seus clientes, porque suas reservas minerais de alta qualidade foram reduzidas substancialmente, e que há necessidade de aproveitar minérios até o momento considerados como marginais, isto é, minérios de baixo teor na indústria mineral.

Neste contexto, as empresas de exploração de bauxita têm buscado o aproveitamento da camada de bauxita nodular até então considerada minério marginal, devido o seu alto teor de sílica reativa. Dentre as empresas, a Mineração Rio do Norte – MRN em parceria com a Universidade Federal do Pará – UFPA através do Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica do Instituto de Geociências têm se interessado em desenvolver estudos mais detalhados de caracterização da bauxita nodular presente nos seus depósitos minerais localizados em Trombetas, região oeste do Pará.

1.2 OBJETIVO GERAL

Avaliar a bauxita nodular dos depósitos de Trombetas, a partir de suas características texturais, mineralógicas e químicas como possível minério de alumínio.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterização textural, mineralógica e química da bauxita nodular e da cobertura argilosa;
- Caracterização química e discussão geoquímica desses dados visando entender a partição químico-mineral entre a fase argilosa e a gibbsítica; entendimento sobre os processos evolutivos;
- Identificação e quantificação dos minerais pesados na bauxita nodular e cobertura argilosa para auxiliar na discussão genética e proveniência.

2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO À ÁREA DE ESTUDO

Os depósitos de bauxita da Mineração Rio do Norte, especificamente as minas Bela Cruz e Monte Branco, estão localizados nos municípios de Oriximiná e Terra Santa, no oeste do estado Pará, dentro da chamada Floresta Nacional Saracá-Taquera (Figura 1). O acesso, partindo-se da cidade de Belém, é feito por via aérea até o distrito de Porto Trombetas e, a partir daí, pela rodovia/ferrovia e acessos secundários, pertencentes à empresa, até as minas referentes as áreas de estudo.

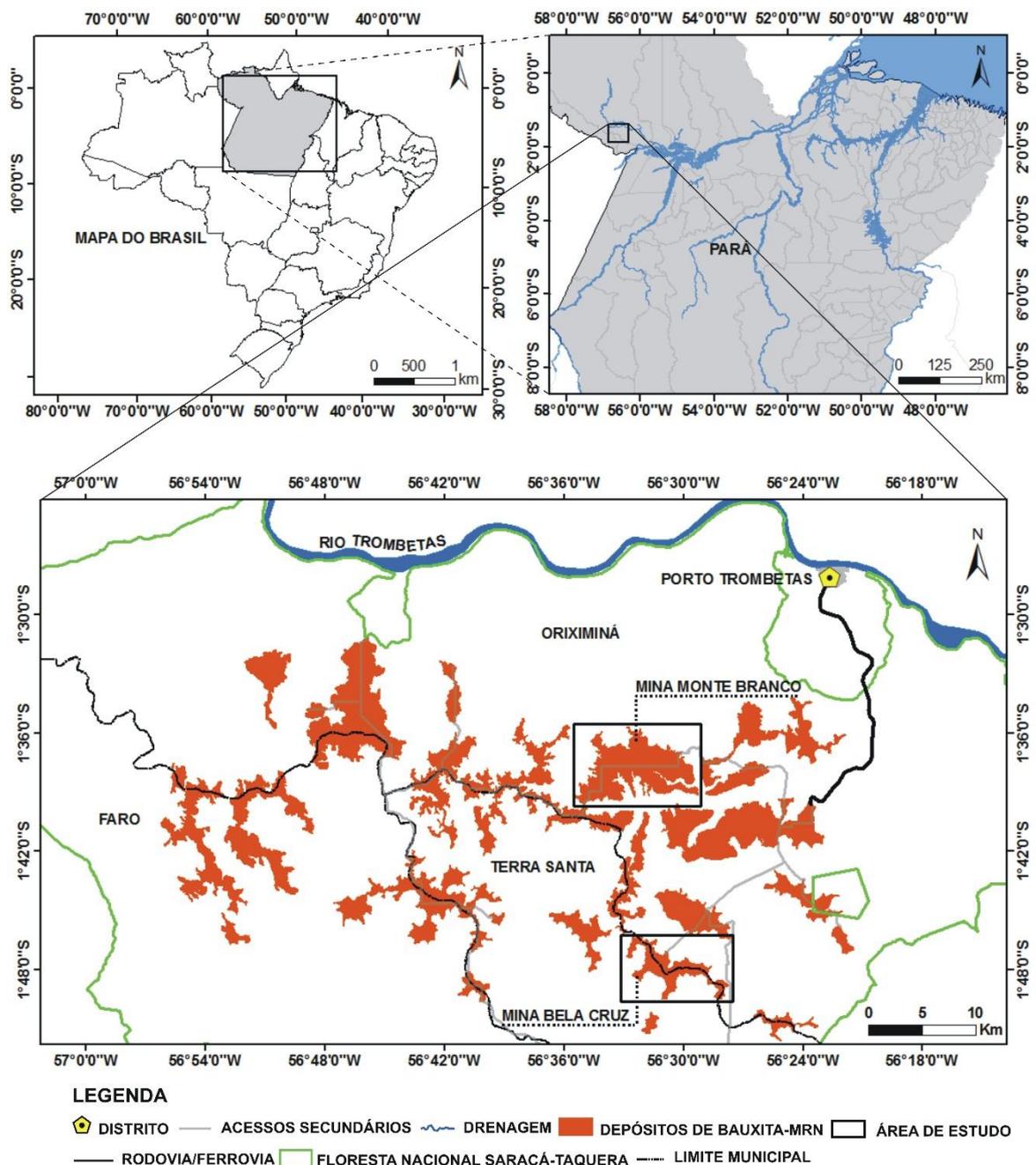


Figura 1- Mapa de localização dos depósitos de bauxita da região de Trombetas/Terra Santa com indicação das áreas de estudo. Fonte: Elaborado pelo autor.

3 ESTUDOS ANTERIORES

3.1 REGIÃO BAUXITÍFERA AMAZÔNICA

Foi somente a partir da década dos anos 1950 que se descobriram os primeiros grandes depósitos de bauxita na região Amazônica, e isto através das pesquisas realizadas pelas empresas Kaiser Aluminium Company na região do Baixo Amazonas e a Rio Tinto Zinc Company em Paragominas (Costa 1991).

O reconhecimento de bauxita associados a platôs terciários da Amazônia ocorreu pelos geólogos Towse & Vinson da Companhia Kaiser em 1959 (Kotschoubey *et al.* 2005). Sombroek (1966) registrou importantes formações lateríticas na região nordeste do Pará que classificou os produtos residuais em várias categorias, entretanto, não observou, na ocasião, a ocorrência de bauxita.

A partir da década de 1970 foram publicados diversos trabalhos sobre a descoberta, a natureza e gênese das bauxitas da Amazônia (Wolf 1972, Wolf & Silva 1973, Dennen & Norton 1977, Greig 1977, Grubb 1979, Kotschoubey & Truckenbrodt 1981, Truckenbrodt *et al.* 1982, Hernalsteens 1982, Costa 1991, Horbe & Costa 1999, Kotschoubey *et al.* 2005, Costa *et al.* 2014). Autores como (Wolf 1972, Wolf & Silva 1973, Dennen & Norton 1977, Grubb 1979, Aleva 1981) interpretaram essas formações bauxíticas como lateríticas residuais geradas *in situ* a partir de sedimentos da Formação Barreiras no Terciário Superior. Greig (1977) observou igualmente uma forte relação entre as lateritas aluminosas e sedimentos terciários da Bacia do Amazonas. Por sua vez, Truckenbrodt *et al.* 1982 consideraram que as bauxitas não se formaram no Terciário Superior ou Quaternário, mas sim no Terciário Inferior, coincidindo com o mesmo período da formação das bauxitas da Guiana e Suriname (Krook 1979), provenientes de sedimentos siliciclásticos das formações Itapecuru e Ipixuna do Cretáceo Superior.

Os depósitos de bauxitas da Amazônia constituem grandes corpos tabulares (blankets) e delimitados na Amazônia Central e Oriental (Costa 1991), ocupando a parte superior de platôs, quase sempre capeados por argila amarela a vermelha, conhecida por Argila de Belterra, que o ocupa o topo desses platôs (Costa 2016). Essas bauxitas se apresentam como material friável, terroso, a coesos, maciços, ou então com aspecto nodular, em que os nódulos são envolvidos para material de aspecto argiloso. A bauxita quando coesa e espessa pode apresentar aspecto colunar com cavidades sub-verticais. Desenvolvem também feições oolítica-pisolíticas,

esponjosas, cavernosas, celulares. Texturas e estruturas reliquiares tais como pseudomorfos de fenocristais, de blasteses, de vênulas, de porfiroblastos, de moldes de raízes e de bioturbações podem ser observadas (Costa 1991).

As bauxitas fazem parte de perfil laterítico, com os seguintes horizontes da base para topo: saprólito argiloso marrom avermelhado, por vezes mosqueado; bauxita maciça, bauxita ferruginosa; bauxita nodular e finalmente cobertura argilosa. A bauxita maciça é extraída como minério. A figura 2 ilustre esses horizontes, sua composição mineralógica (gibbsita, caulinita, hematita e goethita).

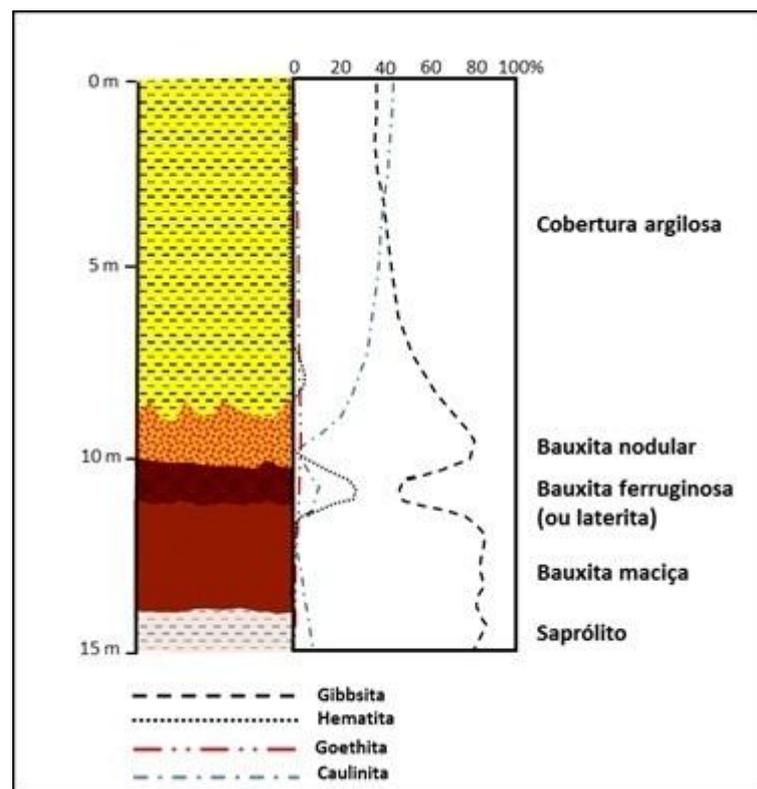


Figura 2- O perfil laterítico bauxítico simplificado em Trombetas mostrando os horizontes identificados e a distribuição dos principais minerais (Sugden 1984).

3.2 DEPÓSITOS DE BAUXITAS DE TROMBETAS

O substrato dos depósitos de bauxita de Trombetas/Terra Santa são as rochas sedimentares siliciclásticas da formação Alter do Chão, cretácica, da Bacia do Amazonas (Boulangé & Carvalho 1997). De acordo com Cunha *et al.* (1994) é representada por argilitos, arenitos, siltitos e arcósios flúvio-lacustres (Figura 3).

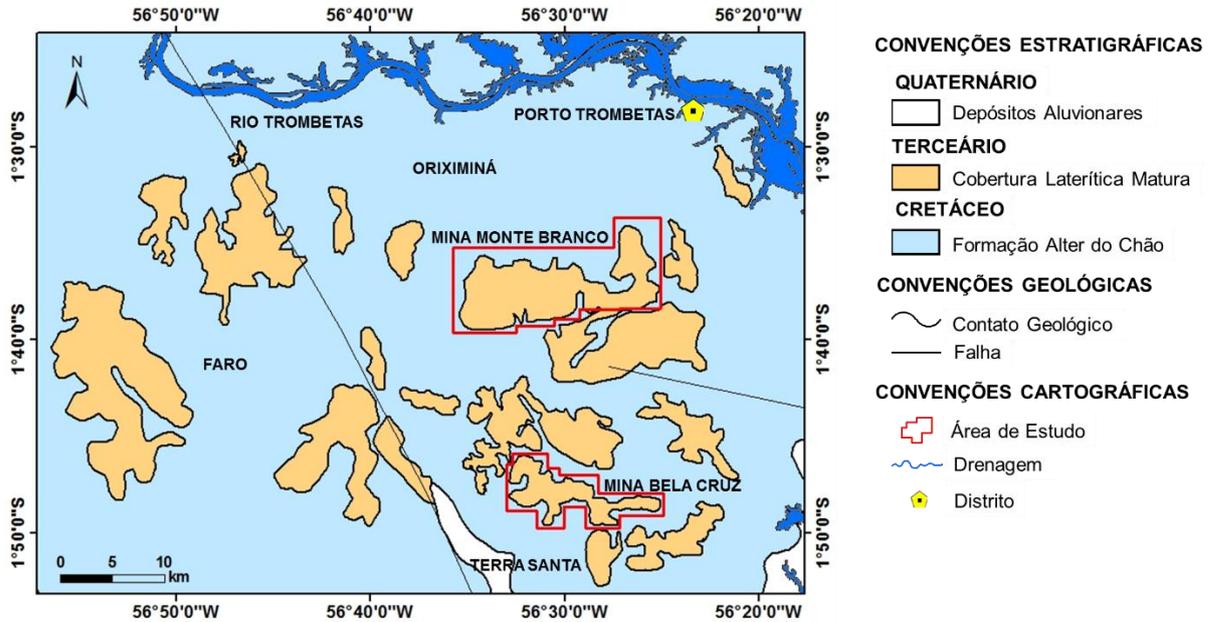


Figura 3- Mapa geológico simplificado da região de domínio dos depósitos de bauxitas de Trombetas, com destaque para a Cobertura Laterítica Matura, que envolve as bauxitas e a Formação Alter do Chão (Modificado de CPRM 2008).

3.3 BAUXITA NODULAR

A bauxita é formada por nódulos de gibbsita microcristalina (Hernalsteens *et al.* 1988) com aspecto porcelanado e coloração esbranquiçada-creme rosada, por vezes cavernosas e escoriáceas, envoltas por material argiloso marrom claro. A relação nódulos/matriz argilosa é variável, convergindo para o predomínio dos nódulos sobre a matriz ou matriz se tornando o material dominante, culminando com material tipo o da cobertura Argila de Belterra. Kotschoubey (1988) denominou esses nódulos de pseudopisólitos cimentados por material gibbsítico de textura muito fina. Este, por sua vez, quando bem desenvolvido, chega a formar zonas lenticulares mais maciças, nas quais os pseudopisólitos encontram-se parcial ou totalmente digeridos e substituídos pela massa gibbsítica fina, sendo reduzidos então as manchas arredondadas, de bordas difusas, de cor marrom claro.

A bauxita nodular de Trombetas tem uma espessura média de 1,3 metros, mas pode alcançar até 2,5 metros (Hernalsteens *et al.* 1988). É constituída por nódulos pequenos (< 5 cm), com formatos irregulares. Eles são frequentemente coalescentes formando, às vezes, verdadeiros blocos, imersos em uma matriz argilosa de cor vermelho amarelada (Boulangé & Carvalho 1997).

3.4 ARGILA DE BELTERRA

A Argila de Belterra foi reconhecida por Sombroek (1966), como material argiloso caulínico com cerca de 20 metros de espessura, de cor amarelado, aspecto homogêneo sem nenhuma estratificação visível na vila conhecida como Belterra, município de Santarém. É constituída principalmente de caulinita (80%), gibbsita (10%) e de quartzo (10%). As proporções caulinita/gibbsita têm tendência para reverter para parte inferior, com uma transição gradual para a camada de bauxita nodular (Boulangé & Carvalho 1997). Logo depois pesquisadores de bauxitas na Amazônia reconheceram uma relação forte entre estas argilas e os perfis laterito-bauxíticos e várias hipóteses surgiram quanto a sua possível gênese, em contraposição aquela de Sombroek (1966) que aventava uma sedimentação lacustre Plio-Pleistocênica com fonte andina.

Klammer (1971) considerou a sua formação proveniente da parte superior do Grupo Barreiras. Wolf & Silva (1973) interpretaram que a argila de Belterra fosse um produto pedogenético a partir da própria sequencia bauxítica. Grubb (1979) sugere o transporte e deposição da argila, como sendo de origem coluvial. Truckenbrodt & Kotschoubey (1981), propuseram três hipóteses: formação *in situ* por processos intempéricos; transporte lateral e deposição do material saprolítico; e transporte lateral de material saprolítico por térmitas. Lucas *et al.* (1993) sugeriram formação *in situ* de um horizonte argiloso no topo do perfil resultante da diferenciação geoquímica, sob floresta tropical úmida, com o aporte da sílica através da atividade biológica.

Horbe & Costa (1999) concluíram que Argila de Belterra corresponderiam a latossolos derivados do intemperismo tropical das crostas ferroaluminosas e bauxíticas *in situ* e que as grandes espessuras de solo podem estar associados a movimentos de massa sucessivos nos períodos de clima mais seco.

Hoje se aceita que Argila de Belterra seja em parte comparável a latossolos ou argissolos de cor amarelada com espessura de vários metros, que ocupam extensas áreas na Amazônia, especialmente no domínio dos depósitos de bauxitas (Costa 1991, Horbe & Costa 1997 e 1999, Costa 2016). Para Costa (1991) é a cobertura típica dos lateritos da Amazônia, sob a forma autóctone ou alóctone, invariavelmente em áreas onde há densa floresta tropical, sendo mais espessa quando ocorre sobre os platôs.

4 MATERIAS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do presente trabalho realizou uma campanha de campo em outubro de 2016 para observações detalhadas de perfis laterito-bauxíticos com bauxita nodular e sua relação com a cobertura. Esse trabalho envolveu descrições geológica detalhada de perfis expostos nas paredes das frentes de lavra das minas Bela Cruz e Monte Branco da empresa Mineração Rio Norte.

4.1 AMOSTRAGEM

Entre os perfis investigados foram selecionados sete perfis para amostragem, quatro na mina Bela Cruz e três na mina Monte Branco (Figura 4). Em seguida foram coletadas 19 amostras, sendo 16 do horizonte bauxítico nodular, 1 do horizonte bauxítico e 2 da cobertura argilosa. A amostragem no horizonte bauxítico nodular obedeceu a diferença do tamanho dos nódulos. A amostragem do horizonte bauxítico foi realizada na parte superior do horizonte, no intervalo de 0,5 m. A amostragem da cobertura argilosa foi realizada na parte inferior no intervalo de 0,5 m.

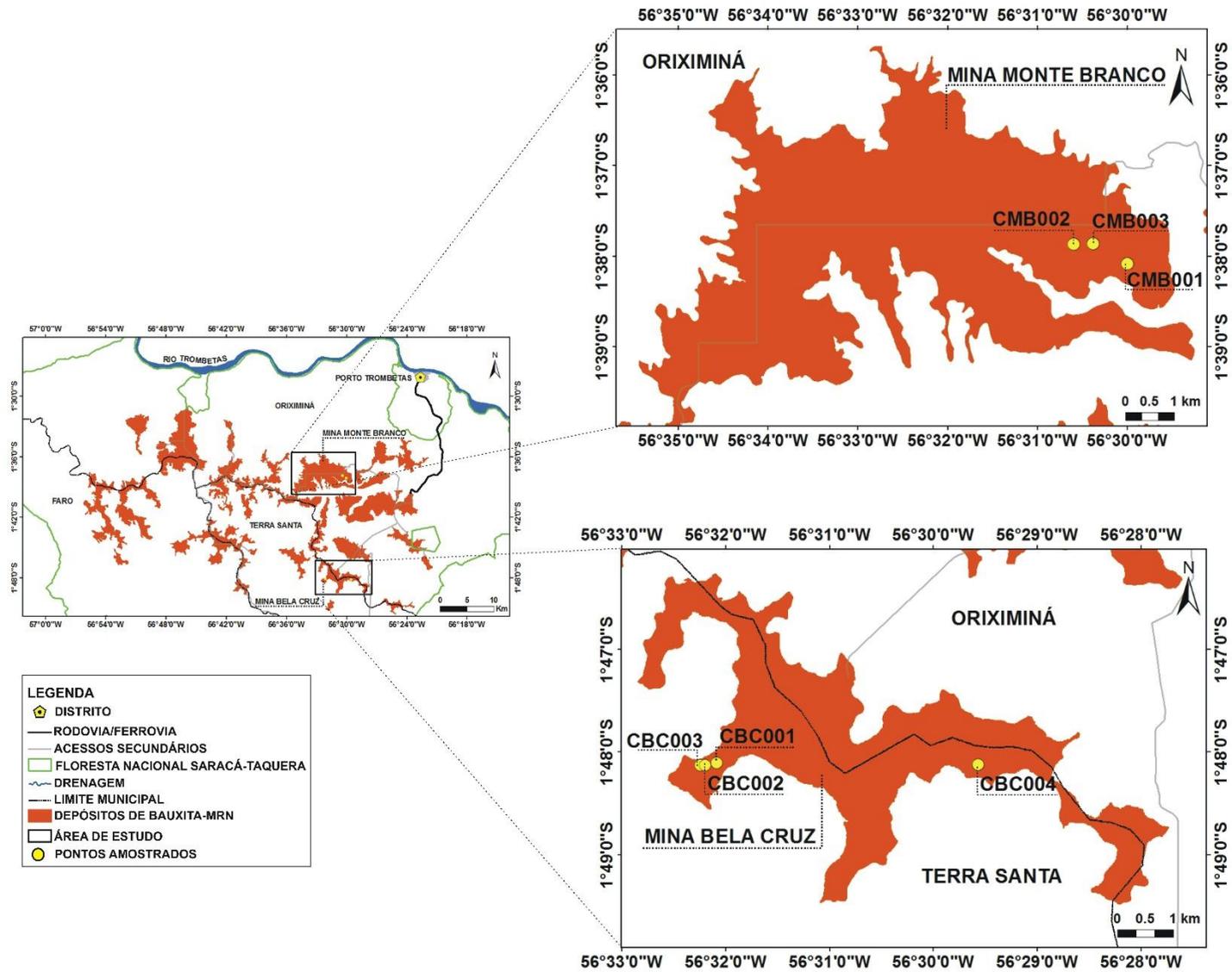


Figura 4- Localização dos perfis investigados e amostrados nas minas Monte Branco e Bela Cruz da Mineração Rio do Norte.

4.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras foram descritas macroscopicamente com o apoio de lupa e da carta de Munsell Soil Color Charts 1994, Revised Edition e seu registro fotográfico. Em seguida se selecionou 19 fragmentos cada um representando uma amostra para confecção de lâminas polidas na Oficina de Laminação do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – IG/UFPA. A parte restante de cada amostra foi homogeneizada e quarteada na Oficina de Preparação de amostras (OPA) e separada granulometricamente em fragmentos > 0,500 mm, fragmentos 0,500, 0,500 – 0,250, 0,250 – 0,125, 0,125 – 0,063 mm e matriz argilosa no Laboratório de Sedimentologia do IG/UFPA. Além disso, uma amostra do horizonte bauxítico nodular base (HBNB) foi separada e fragmentada nas frações 0,500, 0,500 – 0,250, 0,250 – 0,125, 0,125 – 0,063 mm. Para cada amostra subtrai-se uma alíquota de 20g que foi pulverizada em gral de ágata para análises mineralógica e química. Para estudo dos minerais pesados foi retirada uma alíquota de 150g de amostras de cada horizonte que foram cominuídas com auxílio do equipamento shatterbox pertencente à Oficina de Preparação de amostras (OPA). Em seguida o material cominuído passou por uma separação granulométrica para seleção das frações areia fina (retida de 0,125 mm) e muita fina (retida de 0,063 mm) em peneiramento úmido e ultrassom no Laboratório de Sedimentologia do IG/UFPA. A figura 5 mostra detalhadamente todas as etapas de preparação conforme o método analítico a ser utilizado.

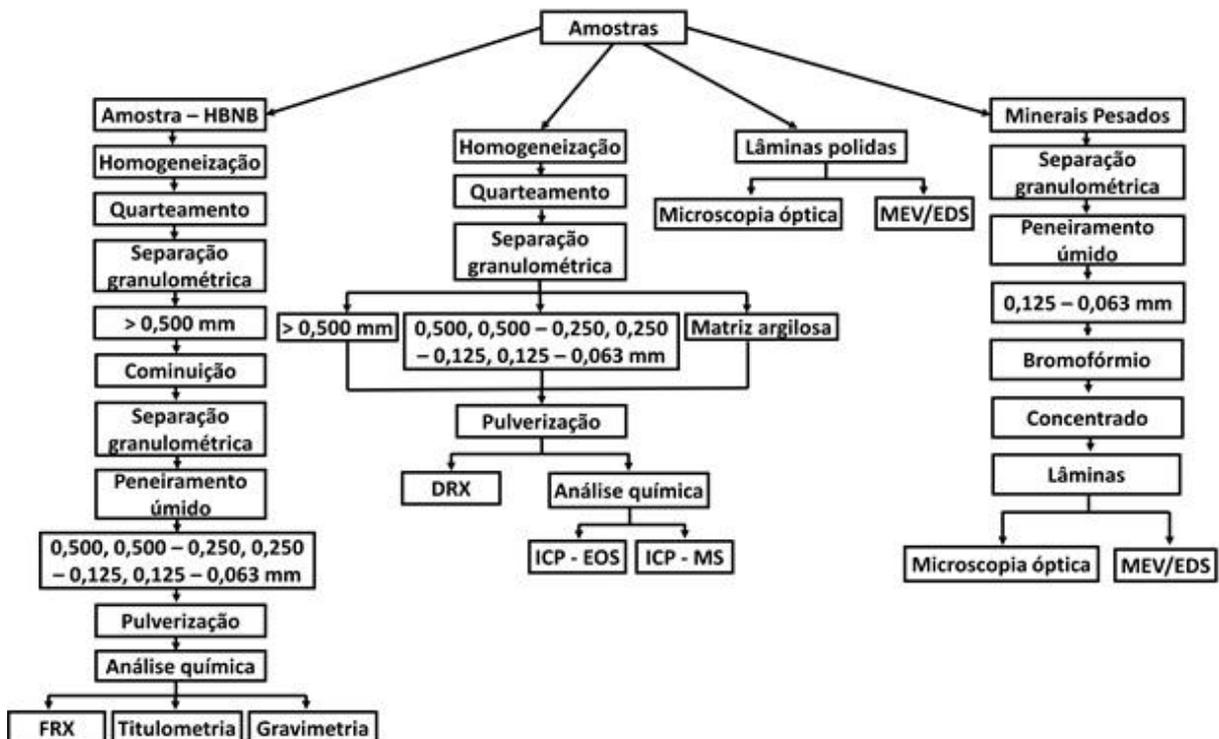


Figura 5- Fluxograma dos procedimentos de preparação e das análises realizadas.

4.3 MICROSCOPIA ÓTICA

Com base nas 19 lâminas polidas representativas de cada horizonte investigado, realizou-se a caracterização mineralógica e análise micromorfológica das amostras. A investigação por microscopia ótica foi realizada no Laboratório de Gemologia do IG/UFPA, com auxílio do microscópio petrográfico LEICA DM 2700 P com câmara LEICA MC 170 HD acoplada. Esse mesmo procedimento foi aplicado a identificação dos minerais pesados (14 amostras), cujos grãos foram montados sobre lâminas de vidro. Para a quantificação mineral contou-se no mínimo 150 grãos/lâmina.

4.4 DIFRAÇÃO DE RAIOS X

A determinação mineralógica das amostras investigadas foi também apoiada por análises por Difração de Raios X (DRX) pelo método do pó em difratômetro Bruker D2 PHASER (Laboratório de Mineralogia, Geoquímica e Aplicações – LAMIGA, IG/UFPA), com ânodo de Cu. As condições de análise foram na faixa angular entre 5° a 74,98°, passo 0.02°, tempo/passo 38,4s, tempo total 720s, fenda 0,2° e potência 300 w.

4.5 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

As análises por Microscopia Eletrônica de Varredura acoplada a Sistema de Energia Dispersiva (MEV/EDS) foram empregadas para observações das micromorfologias dos minerais com emprego de elétrons secundários e elétrons retroespalhados respectivamente, bem como análises químicas semiquantitativa para aprofundar o detalhamento mineral. Para essas análises foram utilizados fragmentos subcentimétricos das respectivas amostras, metalizados a ouro. Fração dos concentrados de minerais pesados de cada amostra também foi montada em fita dupla face e colada em lâmina de vidro. Esta técnica foi empregada principalmente para a caracterização dos zircões, usando a morfologia dos seus cristais para os zircões frente a classificação dos diferentes de Pupin 1980. Empregou-se microscópio eletrônico de varredura Modelo LEO-1430, marca Zeiss com EDS modelo Sirius-SD acoplado, do Laboratório de Microanálises (IG/UFPA). As condições de operação foram: corrente do feixe de elétrons= 90 μ A, voltagem de aceleração constante = 20 kV, distância de trabalho = 15 mm, tempo de contagem para análise dos elementos = 30 s e também Modelo TM3000, marca HITACHI com EDS modelo SwiftED3000 acoplado do LAMIGA, IG/UFPA).

4.6 SEPARAÇÃO DOS MINERAIS PESADOS

Para separação dos minerais pesados foram utilizadas alíquotas de 150g de cada amostra investigada (bauxita, bauxita nodular e a cobertura argilosa) já cominuídas. Em seguida foram separadas as frações 0,125 mm e 0,063 mm, obtidas por peneiramento. Dada a quantidade de argila as amostras foram colocadas na cuba de ultrassom para separação do material. Em seguida o material passou por separação magnética com caneta magnética e pelo processo de concentração de minerais pesados através de líquido denso (bromofórmio). Todas essas etapas foram realizadas no Laboratório de Sedimentologia, do IG/UFPA. Após o processo de concentração, os minerais pesados transparentes foram enviados para a Oficina de Laminação do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – IG/UFPA para confecção de lâminas delgadas que possibilitaram os estudos de identificação e quantificação em microscópio óptico. Uma pequena parte deste concentrado foi selecionada através do estereomicroscópio e condicionadas em lâminas com fita adesiva dupla face para as observações em Microscopia Eletrônica de varredura.

4.7 ANÁLISES QUÍMICAS

As análises químicas foram realizadas nos laboratórios da ALS Brasil Ltda e da Mineração Rio do Norte - MRN. No laboratório da ALS, os elementos maiores (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , Cr_2O_3 , TiO_2 , MnO , P_2O_5 , SrO e BaO) foram analisados por Espectrômetro de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES) após fusão das amostras com borato de lítio. A perda ao fogo (PF) foi obtida por calcinação a 1000°C . Os elementos traços (Ba, Cr, Cs, Ga, Ge, Hf, Nb, Rb, Sn, Sr, Ta, Th, U, V, W, Y e Zr) e terras raras (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb e Lu) foram determinados por Espectrômetro de Massa com Plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) após a fusão com borato de lítio. Outros elementos traços (As, Bi, Hg, In, Re, Sb, Se, Te e Ti) foram analisados por ICP-MS, porém após a digestão por água régia. Os metais base (Ag, Cd, Co, Cu, Li, Mo, Ni, Pb, Sc e Zn) foram determinados por ICP-OES após a digestão por quatro ácidos. Outros parâmetros como carbono e enxofre total foram obtidos mediante LECO. No laboratório da MRN, os elementos maiores (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e TiO_2) foram analisados por Fluorescência de Raios X PW2400/Philips após fusão com borato de lítio. A perda ao fogo (PF) foi determinada por calcinação a 1000°C . Os teores de alumina aproveitável (Alap) foram determinados por titulometria e os teores de sílica reativa (Sire) foram determinados por gravimetria.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ESTRUTURAÇÃO DOS PERFIS LATERITO-BAUXÍTICOS E SUA COBERTURA ARGILOSA

Os perfis laterito-bauxíticos investigados ocupam relevos típicos de platôs sob domínio de floresta tropical densa, tanto em Bela Cruz quanto em Monte Branco (Figura 6). São platôs formados pela dissecação fluvial de provável antiga altiplano na ordem de 220 metros de altitude como mostra o seu contorno denteado irregular em consonância com a malha de drenagem (Figura 6).

Em termos gerais, os perfis investigados estão estruturados da base para o topo em: horizonte bauxítico (HBX), horizonte bauxítico nodular base (HBNB), horizonte bauxítico nodular intermediário (HBNI), horizonte bauxítico nodular topo (HBNT) e cobertura argilosa (CAR) (Figura 7).

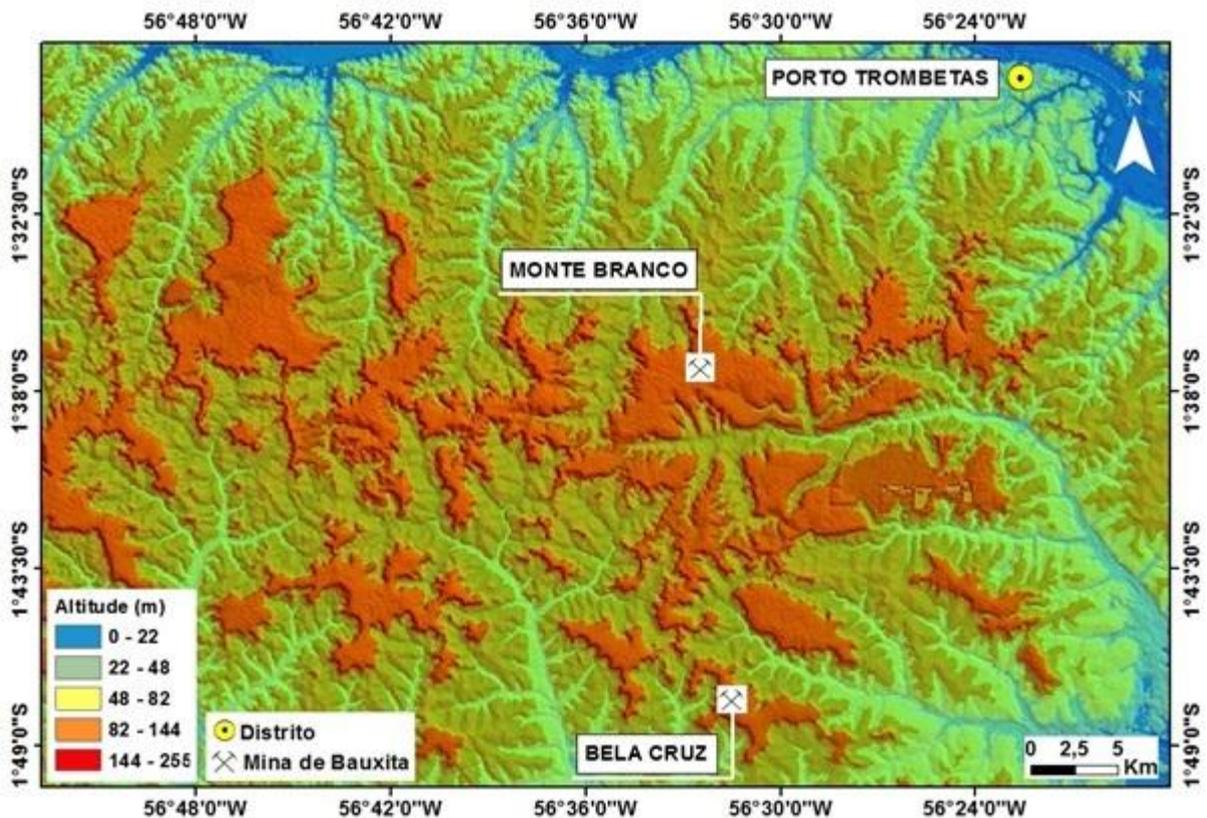


Figura 6- Paisagem da região de domínio das bauxitas de Trombetas, indicando as duas minas Monte Branco e Bela Cruz, em que se destacam os platôs, o relevo rebaixado e o padrão de drenagem subdendrítico, vista através do modelo digital de elevação gerado a partir de dados SRTM em Trombetas, Pará, sob jurisdição da Mineração Rio do Norte.

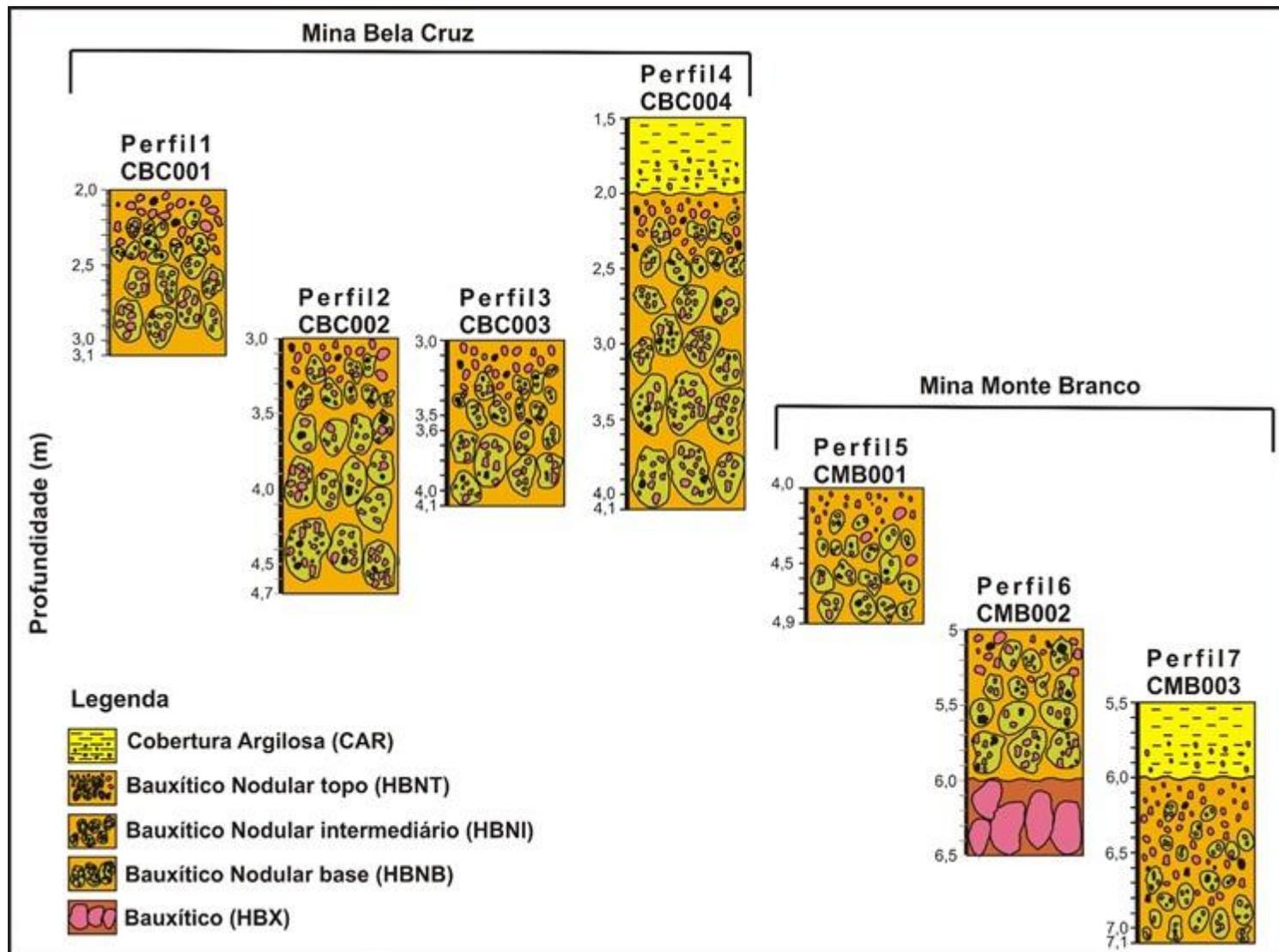


Figura 7- Perfis laterito-bauxíticos investigados nas frentes de lavra das minas Bela Cruz e Monte Branco em Porto Trombetas – PA.

5.2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E MINERALÓGICA DOS HORIZONTES DAS MINAS BELA CRUZ E MONTE BRANCO

5.2.1 Horizonte Bauxítico

O horizonte bauxítico na base do perfil investigado com espessura mínima de 2,0 m, em coloração rosa clara a um marrom vermelho (Figura 8A), é formado por concreções subesféricas e, às vezes, alongadas (Figura 8B). As concreções são compostas por gibbsita rosa (7.5 YR 8/2 na Carta de Munsell) mesocristalina, bordejadas por gibbsita microcristalina (aspecto geral de maciço), esbranquiçada (2.5YR 8/1 na carta de Munsell), que confere aspecto porcelanado. Na porção interior da concreção, além de gibbsita, há caulinita, hematita e anatásio (Figura 9A). A matriz argilosa de cor marrom claro, é composta principalmente por caulinita, além de gibbsita, hematita e anatásio (Figura 9B).

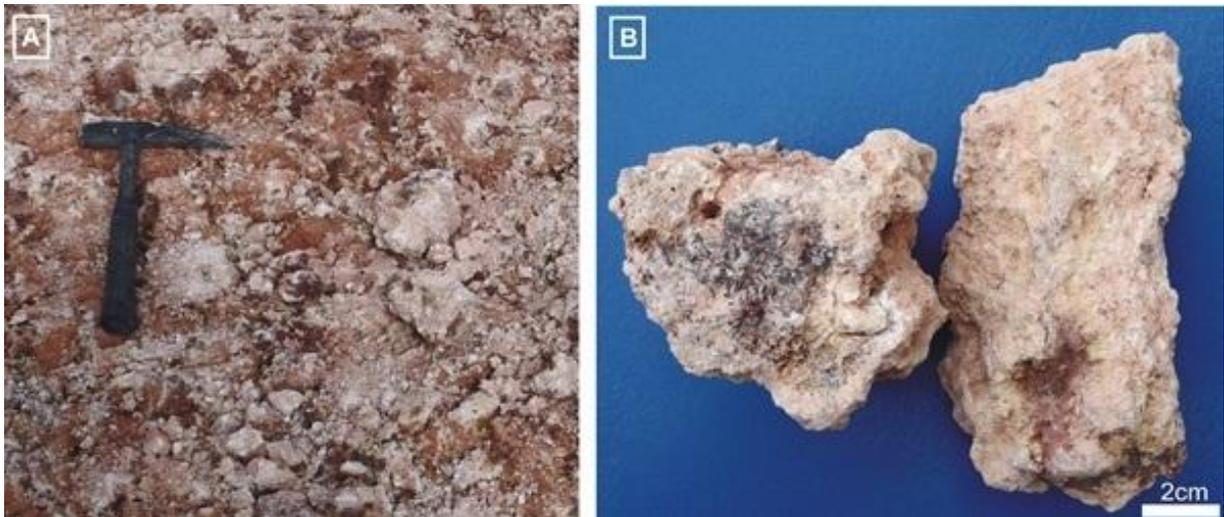


Figura 8- A) Aspecto geral da bauxita do horizonte bauxítico (HBX) exibindo uma coloração rosa clara a vermelho amarronzado. B) Detalhe dessa bauxita com feição nodular mantendo estrutura colunar. O núcleo (à esquerda) é marrom avermelhado e a borda rosa clara de aspecto argiloso.

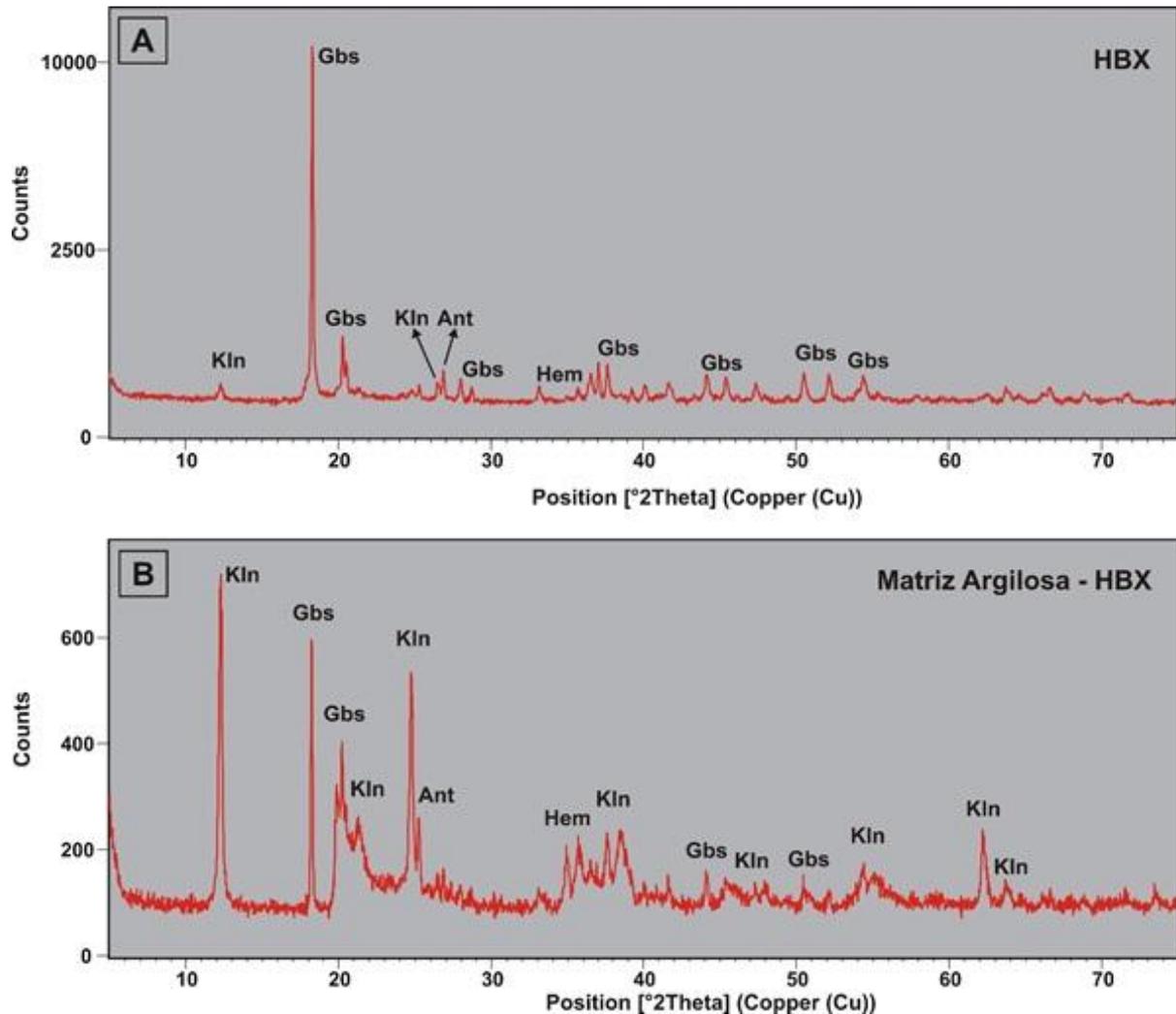


Figura 9- Constituição mineralógica do horizonte bauxítico (HBX) obtida por DRX. A) Parte interna da concreção, dominada por gibbsita, além de caulinita, hematita e anatásio. B) Matriz argilosa em que predomina a caulinita, gibbsita, hematita e ainda anatásio. Gibbsita (Gbs); caulinita (Kln); hematita (Hem); anatásio (Ant).

Sob o microscópio ótico observa-se nódulos subsféricos de gibbsita microcristalina de cor marrom claro cimentados por plasma criptocristalino também gibbsítico com a hematita também microcristalina mas em menor proporção que confere a cor marrom escuro (Figura 10A). O plasma apresenta fissuras e bolsões preenchidos por gibbsita mesocristalina (Figura 10B). Esse plasma gibbsítico que envolve os nódulos de gibbsita microcristalina, com base nas microanálises químicas por MEV/EDS, contém ainda caulinita e hematita (Figuras 10C e D). A gibbsita mesocristalina encontrada nas cavidades e fissuras consiste em cristais subédricos a euédricos (Figuras 10E e F).

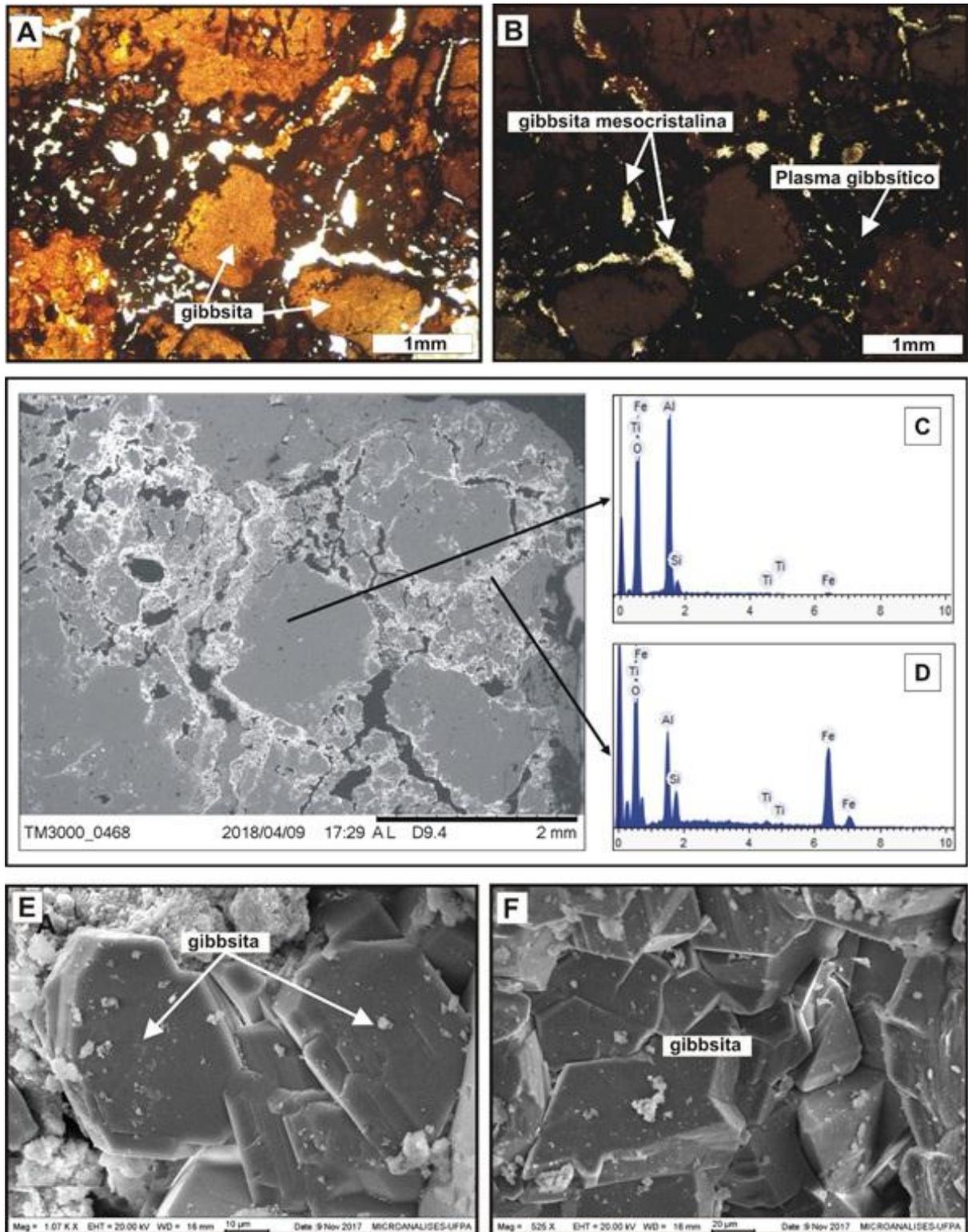


Figura 10- Fotomicrografia dos nódulos de gibbsita microcristalina de marrom claro envolvidos pelo plasma também gibbsítico criptocristalino marrom escuro, luz natural (A) e nicóis cruzados (B). Fragmento de concreção do HBX em que a zona em cinza escuro corresponde à gibbsita com caulinita associada (C). A zona mais clara representa à hematita com gibbsita e caulinita associados (D). E) Gibbsita mesocristalina encontrada nas cavidades com forma pseudo-hexagonal. F) Mesocristais subbéricos de gibbsita intercrescidos preenchendo as cavidades.

5.2.2 Horizonte Bauxítico Nodular

O horizonte bauxítico nodular com espessura de até 2,10 m sobrepondo-se ao horizonte bauxítico e gradando a cobertura argilosa (argila de Belterra) (Figura 11A) é formado por nódulos subsféricos a alongados, cujo tamanho de 2 cm até 12 cm diminui da base para o topo (Figuras 11B, C e D). Os nódulos são em sua porção interna rosa esbranquiçados (2.5 YR 8/2 na carta de Munsell), de textura muito fina, que confere aspecto maciço-porcelanado.

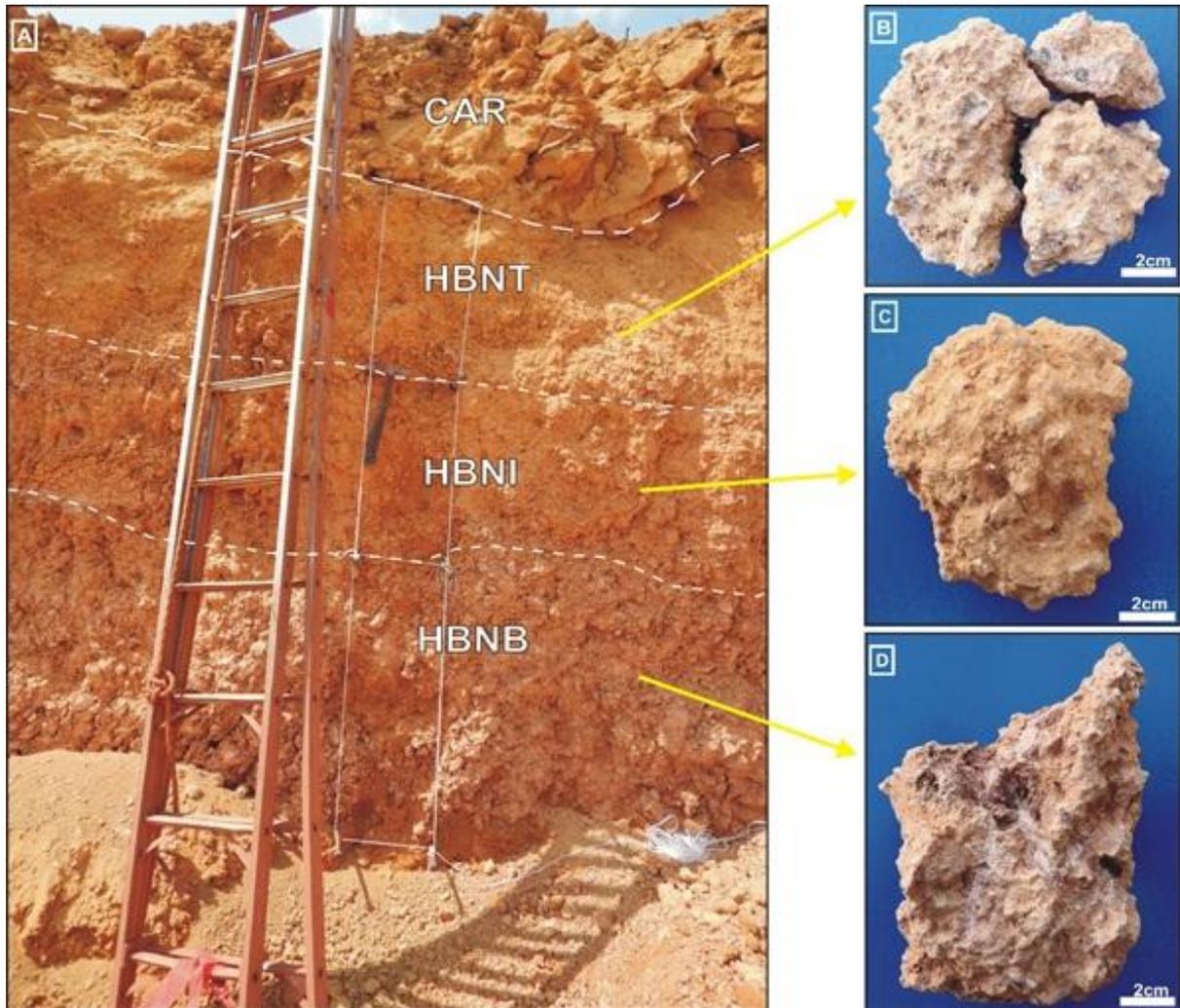


Figura 11- A) Exposição da CAR (Argila de Belterra) e dos HBNT (Horizonte bauxítico nodular base), HBNI (Horizonte bauxítico nodular intermediário) e HBNT (Horizonte bauxítico nodular topo). B), C) e D) Nódulos bauxíticos dos respectivos horizontes que preservam textura tipo crosta ferroaluminosa esferolítica com cimento microcristalino de gibbsita.

Esses nódulos são envolvidos por material argiloso marrom amarelado, e são constituídos principalmente de gibbsita, com caulinita, hematita e anatásio, como acessório (Figura 12A). Ocorrem associados ainda nódulos vermelhos amarronzados (2.5YR 3/6 na carta de Munsell), com até 1 cm de diâmetro, formados por hematita. A matriz argilosa de cor vermelho claro (2.5YR 5/8 na carta de Munsell) cuja proporção relativa aos nódulos aumenta

em direção ao topo do horizonte é composta por caulinita, além de gibbsita, hematita e anatásio (Figura 12B), com o teor de gibbsita diminuindo para o topo, ao contrário da caulinita que aumenta.

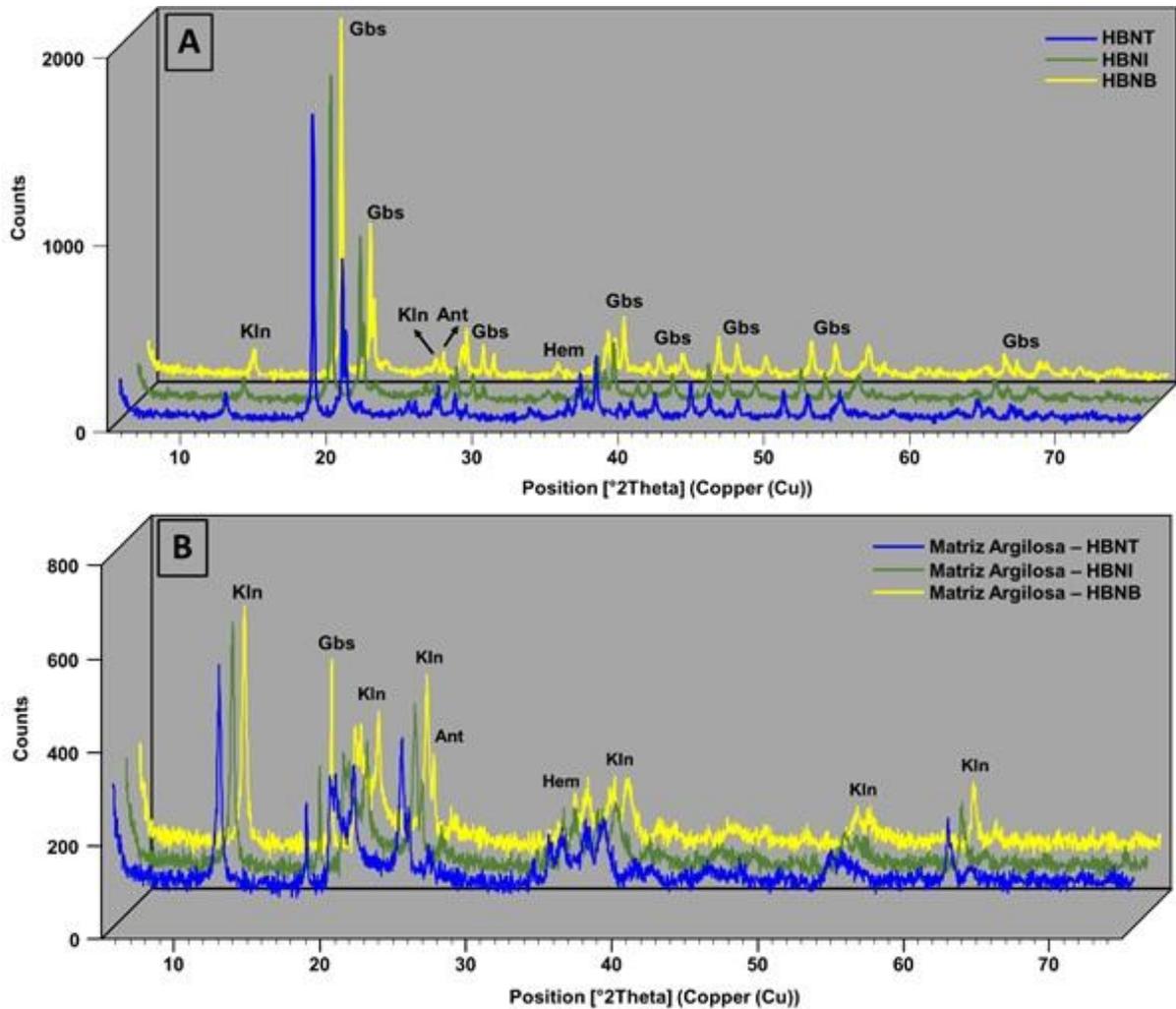


Figura 12- Constituição mineralógica dos HBNB, HBNI e HBNT obtida por DRX. A) Permite verificar que os nódulos dos respectivos horizontes são constituídos essencialmente de gibbsita com caulinita, hematita e anatásio subordinados. B) Matriz argilosa dos nódulos desses horizontes com domínio da caulinita, com gibbsita, hematita e anatásio subordinados. Gibbsita (Gbs); caulinita (Kln); hematita (Hem); anatásio (Ant).

Sob microscópio ótico observa-se que na base do horizonte (HBNB) os nódulos apresentam-se como plasma gibbsítico criptocristalino com impregnações ferruginosas de cor marrom escuro (nicóis paralelos) (Figura 13A), inferidos como constituídos de hematita. Sob os nicóis cruzados, observa-se que o plasma é bastante micro cavernoso e micro fissurado, cujas paredes são revestidas por gibbsita microcristalina (Figura 13B). Esse plasma gibbsítico com base nas microanálises químicas por MEV/EDS contém ainda caulinita (Figura 13C). A gibbsita mesocristalina das cavidades e fissuras apresentam-se em cristais subédricos a euétricos. (Figuras 13D e E).

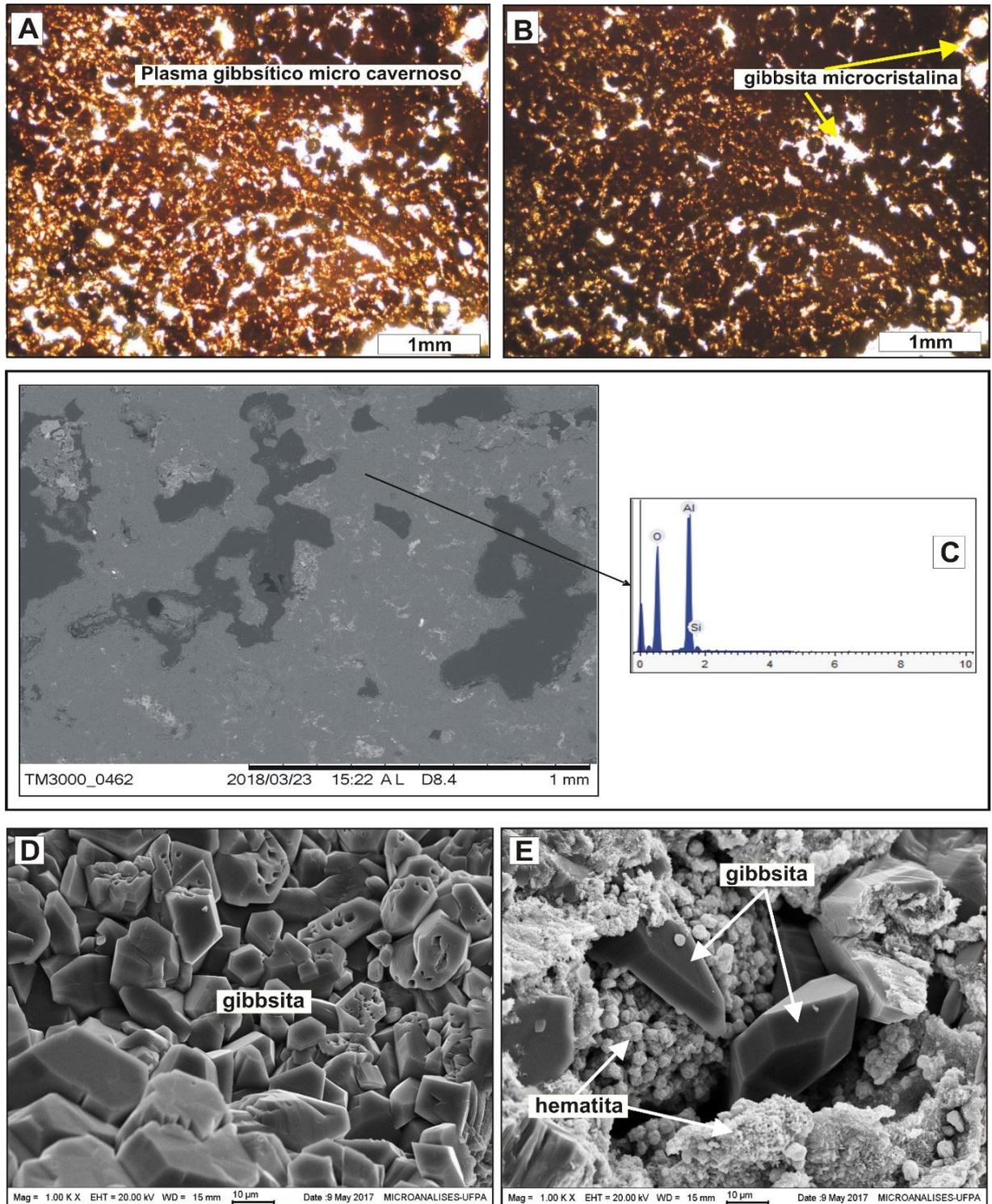


Figura 13- Fotomicrografia do plasma gibbsítico criptocristalino micro cavernoso de cor marrom claro a marrom escuro em luz natural (A). idem sob nicóis cruzados, em que grande parte das cavidades estão ocupadas por gibbsita microcristalina (B). C) Fragmento de nódulo do HBNI em que a zona em tom cinza escuro é dominada por gibbsita com caulinita restrita. (D) Mesocristais subédricos de gibbsita. (E) Mesocristais euédricos de gibbsita com hematita manométrica formando agregados micrométricos envolvendo cavidades.

Na parte intermediária do horizonte nodular (HBNI) se destacam nódulos subsféricos de gibbsita microcristalina de cor marrom claro cimentados por um plasma criptocristalino também gibbsítico com a hematita também microcristalina mas em menor proporção que

confere a cor marrom escuro (Figura 14A). Da mesma forma que os nódulos do HBNB foram micro fissurados e as fissuras preenchidas por gibbsita mesocristalina (Figura 14B). O plasma internodular é constituído por gibbsita e caulinita restrita (Figura 14C). A gibbsita microcristalina, em geral, se apresenta como agregado de cristais placosos. A gibbsita das cavidades e fissuras desenvolve agregados de cristais subédricos, sendo que alguns cristais mostram a presença de micro cavidades sobre suas faces (Figuras 15A e B).

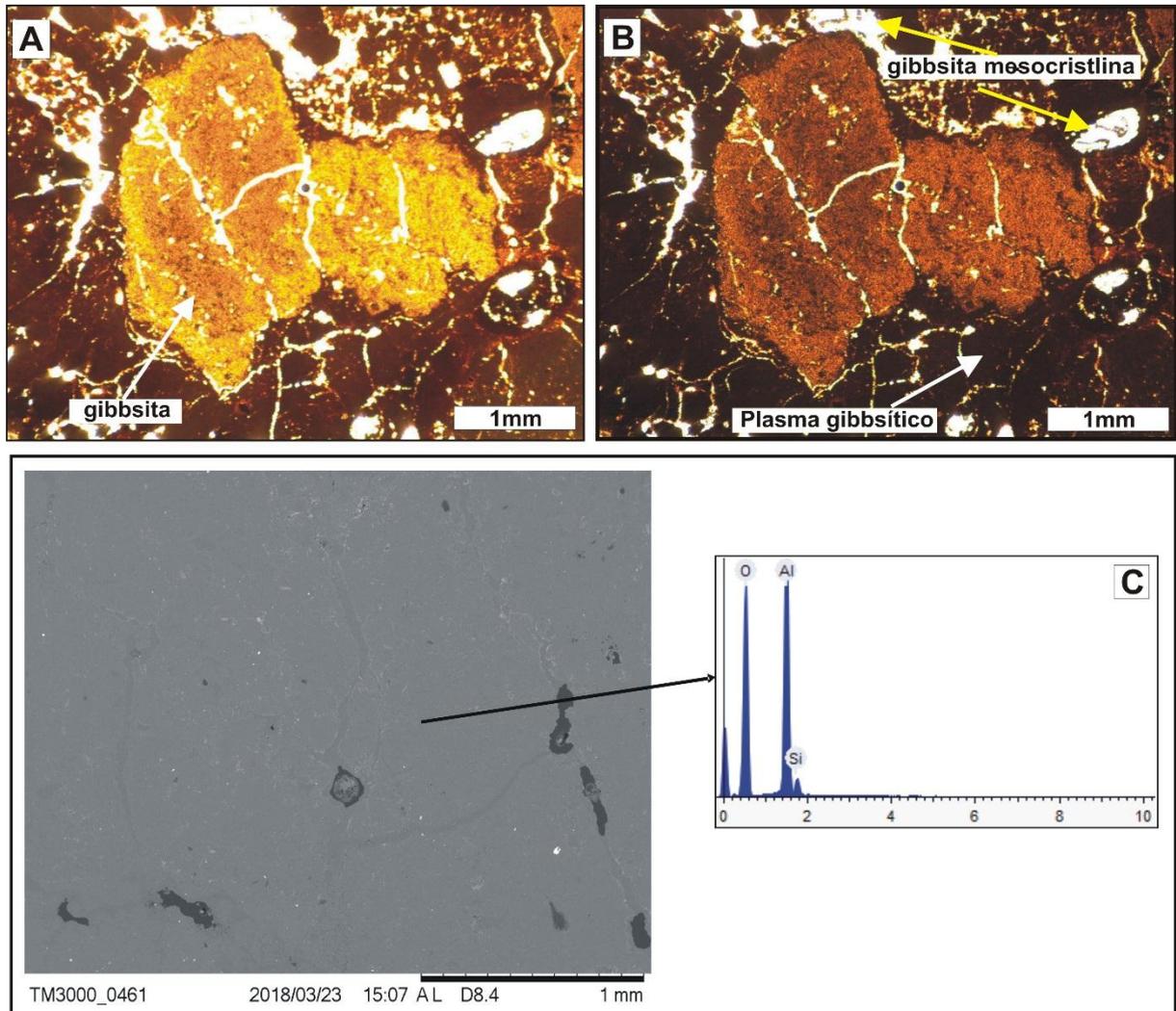


Figura 14- Fotomicrografia do plasma gibbsítico criptocristalino micro cavernoso de cor marrom claro a marrom escuro em luz natural (A). idem sob nicóis cruzados, em que grande parte das cavidades estão ocupadas por gibbsita microcristalina (B). C) Imagem e espectro analítico de MEV/EDS de fragmento de nódulo do HBNI dominado por gibbsita e muito pouco por caulinita.

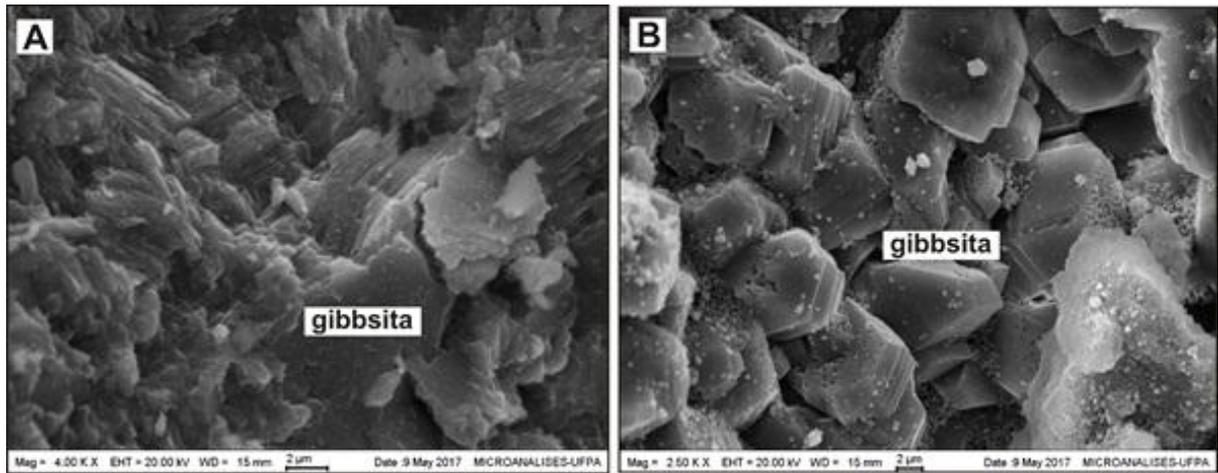


Figura 15- (A) Detalhe de agregados de cristais placosos de gibbsita microcristalina. (B) Detalhe de cristais pseudo-hexagonais de gibbsita microcristalina em cavidades.

No topo do horizonte nodular (HBNT) encontram-se nódulos subsféricos sub-centimétricos de gibbsita microcristalina marrom claro cimentados por plasma criptocristalino gibbsítico marrom escuro. Da mesma forma que o HBNI ocorrem também nódulos vermelhos, hematíticos envolvidos ao plasma gibbsítico microcristalino (Figuras 16A e C). Por outro lado, o HBNT apresenta poucas fissuras preenchidas por gibbsita mesocristalina (Figuras 16B e D). O plasma que envolve os nódulos gibbsíticos e hematíticos é também dominado por gibbsita microcristalina (Figura 16E), além de caulinita, associada (Figuras 17 e 18). A gibbsita microcristalina encontrada nas cavidades desenvolve agregados de cristais subédricos (Figura 16F)

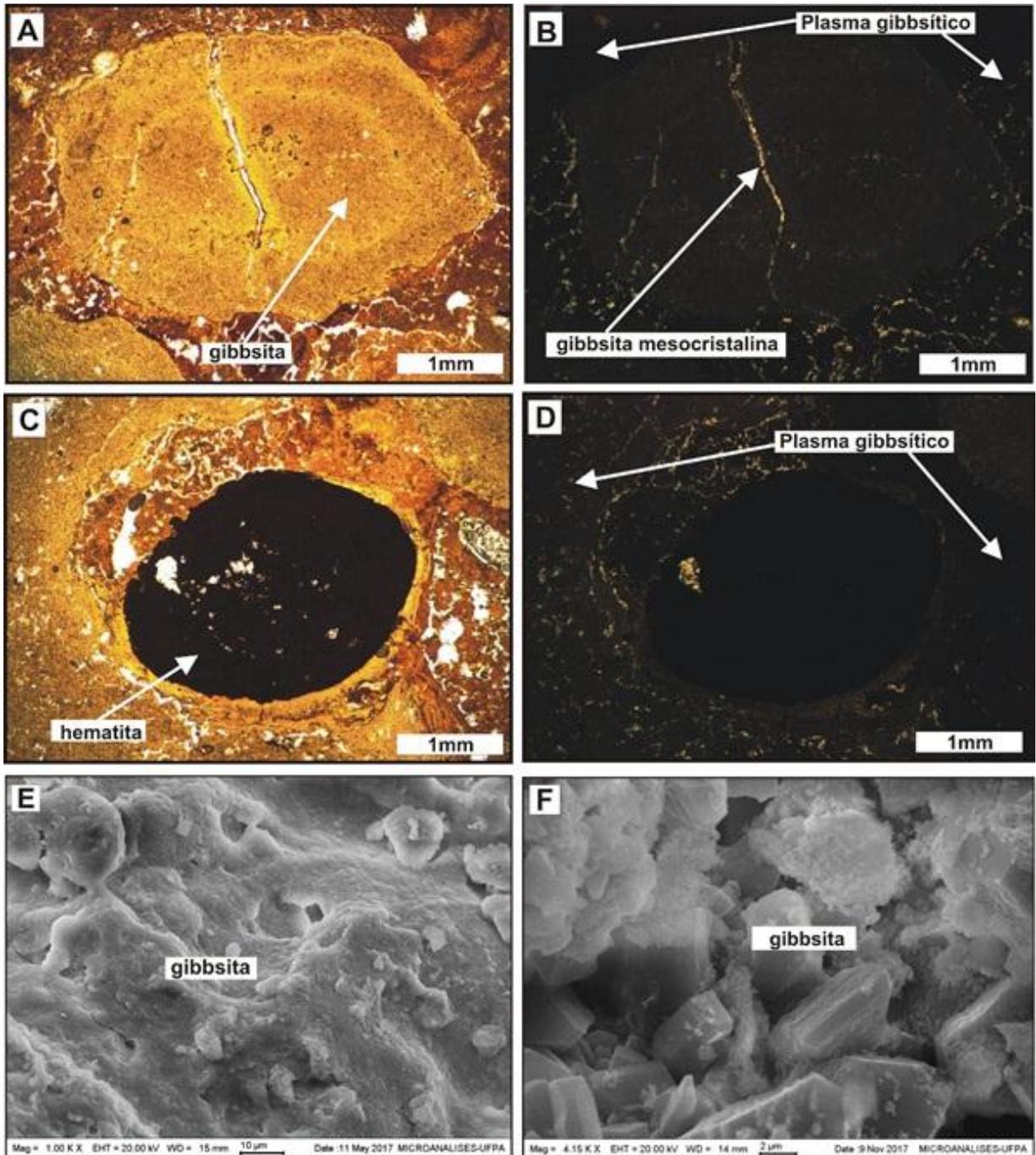


Figura 16- Fotomicrografia de micronódulo gibbsítico ligeiramente zonado concêntrico em meio ao plasma gibbsítico criptocristalino, luz natural (A). Fotomicrografia do mesmo nódulo ressaltando as fissuras e ainda venulações irregulares gibbsíticas no plasma gibbsítico, nicóis cruzados (B). Fotomicrografia de micronódulo hematítico no interior de nódulo gibbsítico microcristalino marrom e por sua vez em plasma gibbsítico criptocristalino de cor marrom claro, luz natural (C); situação anterior, nicóis cruzados, ressaltando as venulações gibbsíticas no plasma (D). E) Plasma formado por gibbsita criptomicrocristalina com caulinita associada. F) Detalhe mostrando dos cristais subédricos de gibbsita microcristalina com caulinita associada encontrados em cavidades do plasma.

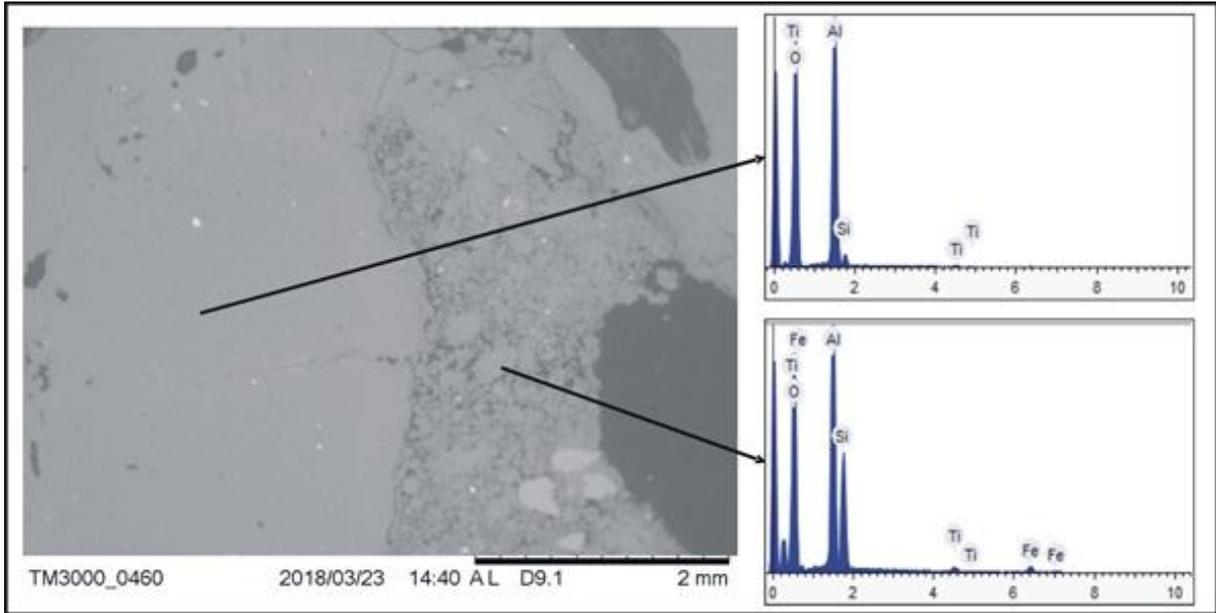


Figura 17- Fragmento de nódulo do HBNT em que observa o domínio de gibbsita na massa compacta à esquerda e de caulinita e gibbsita na zona microbrechada à direita.

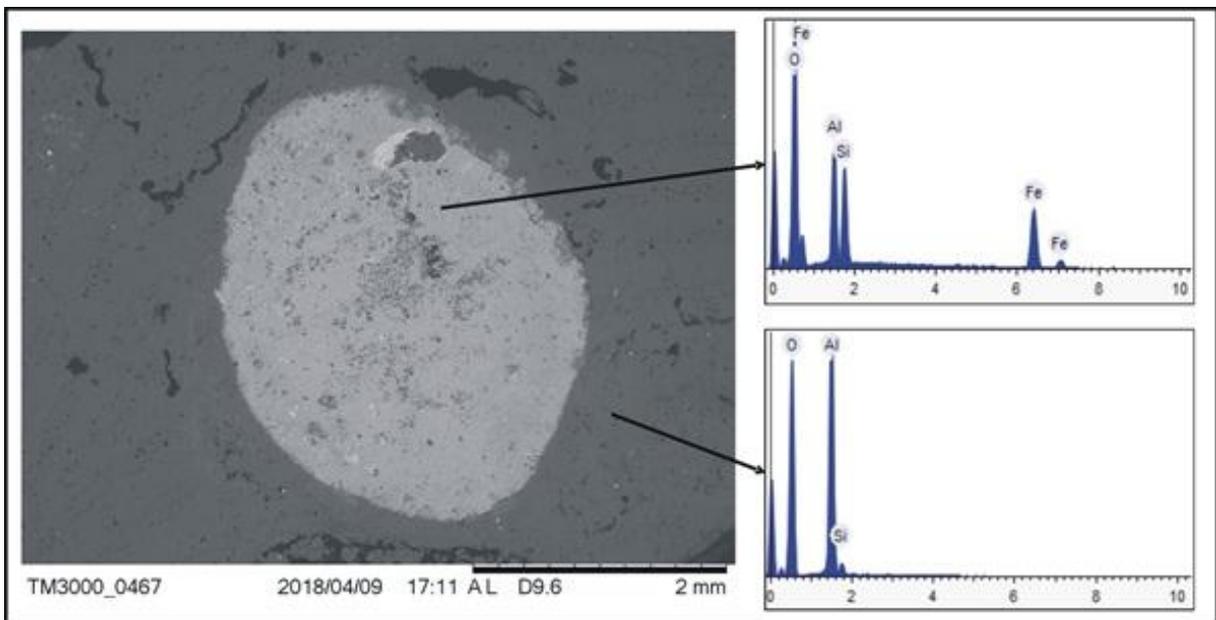


Figura 18- Fragmento de nódulo HBNT em que a zona cinza claro representa o domínio de hematita com caulinita, e cinza mais escuro essencialmente gibbsita e muito pouco caulinita.

5.2.3 Cobertura Argilosa ou Argila de Belterra

A cobertura argilosa com 4 m de espessura média, equivalente a Argila de Belterra, é de cor amarela (10YR4/3 na carta de Munsell). Os primeiros 0,5 m a partir do topo são formados de material homogêneo e no contato com o horizonte bauxítico nodular (HBNT) apresenta nódulos de até 1 cm de diâmetro (Figura 11A). Além disso, parte da mesma apresenta-se grumosa, com os grumos atingindo até 7 cm de diâmetro (Figura 19). Essa cobertura argilosa é

dominada por caulinita, gibbsita, tendo hematita, quartzo e anatásio subordinadamente (Figura 20).



Figura 19- Amostra da cobertura argilosa (CAR) exibindo o aspecto grumoso.

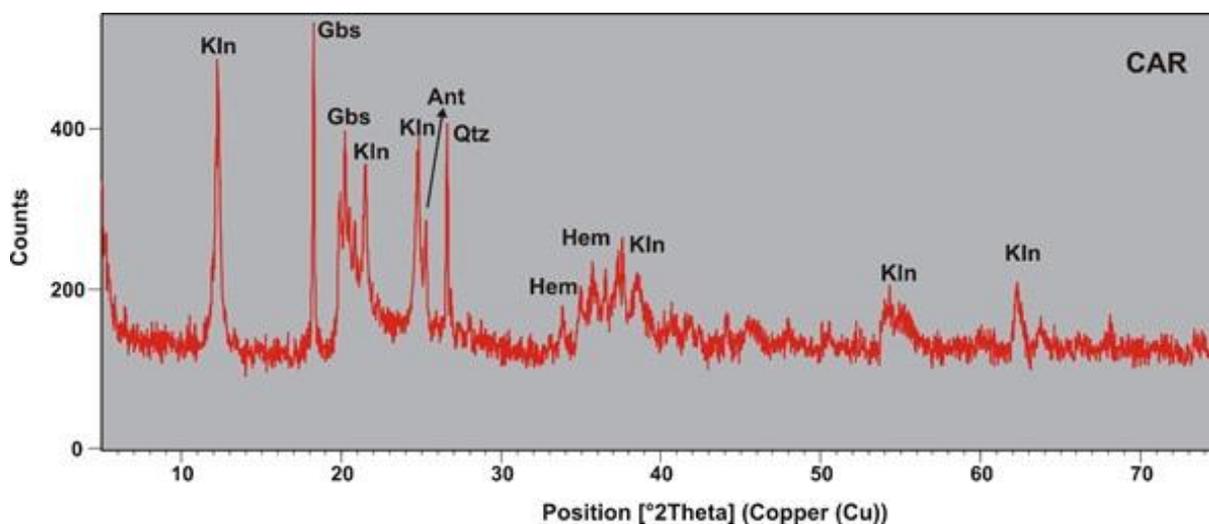


Figura 20- Constituição mineralógica da cobertura argilosa (CAR), obtida por DRX, mostrando o domínio da caulinita, gibbsita, tendo hematita, quartzo e anatásio subordinados. Gibbsita (Gbs); caulinita (Kln); hematita (Hem); quartzo (Qtz); anatásio (Ant).

Os nódulos subesféricos marrom claro são formados por gibbsita microcristalina, além de hematita (Figuras 22A e B) cimentados por massa caulínica (Figura 22C), com textura criptocristalina (Figura 21C), de cor marrom escuro (Figura 21A), cujo contato é mostrado na Figura 21B.

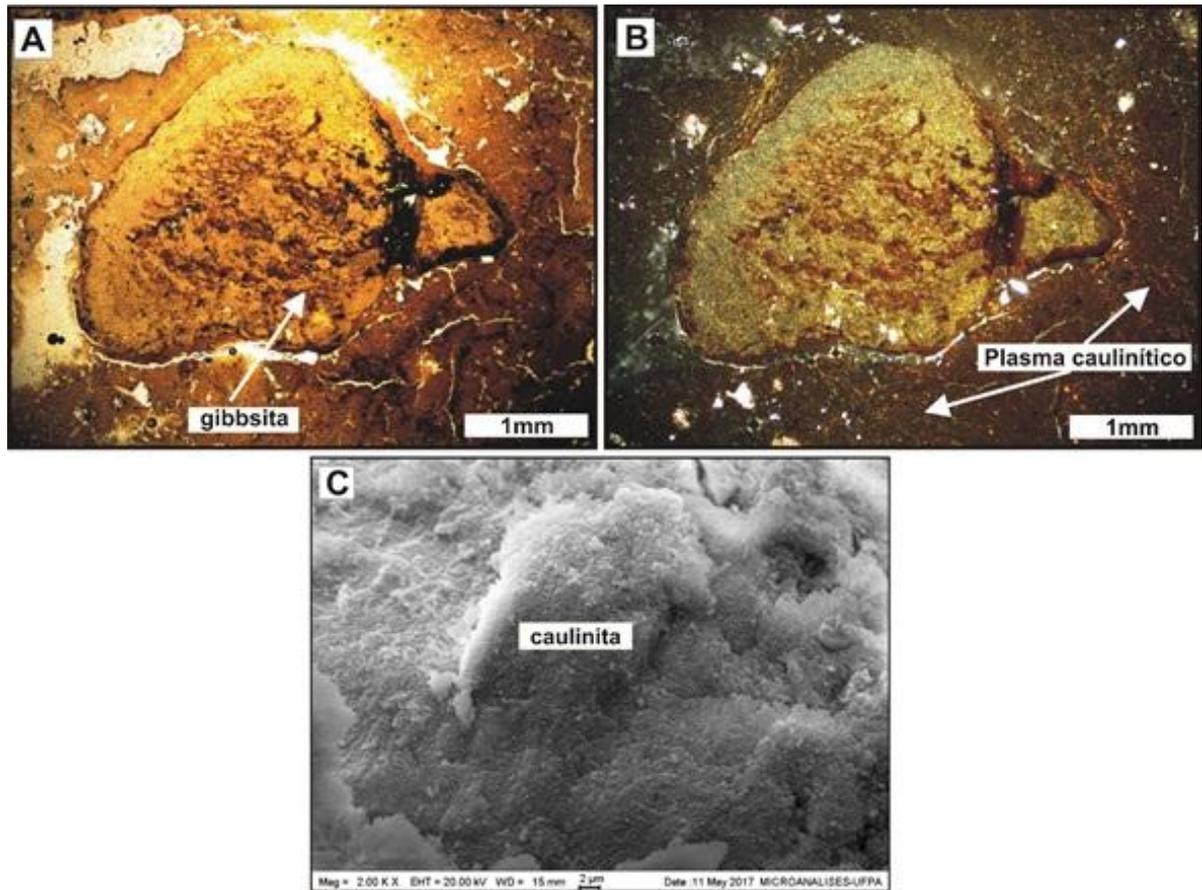


Figura 21- A) Fotomicrografia do nódulo irregular de gibbsita microcristalina de cor marrom claro envolvidos pelo plasma caulinitico criptocristalino marrom escuro, luz natural (A) e nicóis cruzados (B). C) Massa caulinitica criptocristalina.

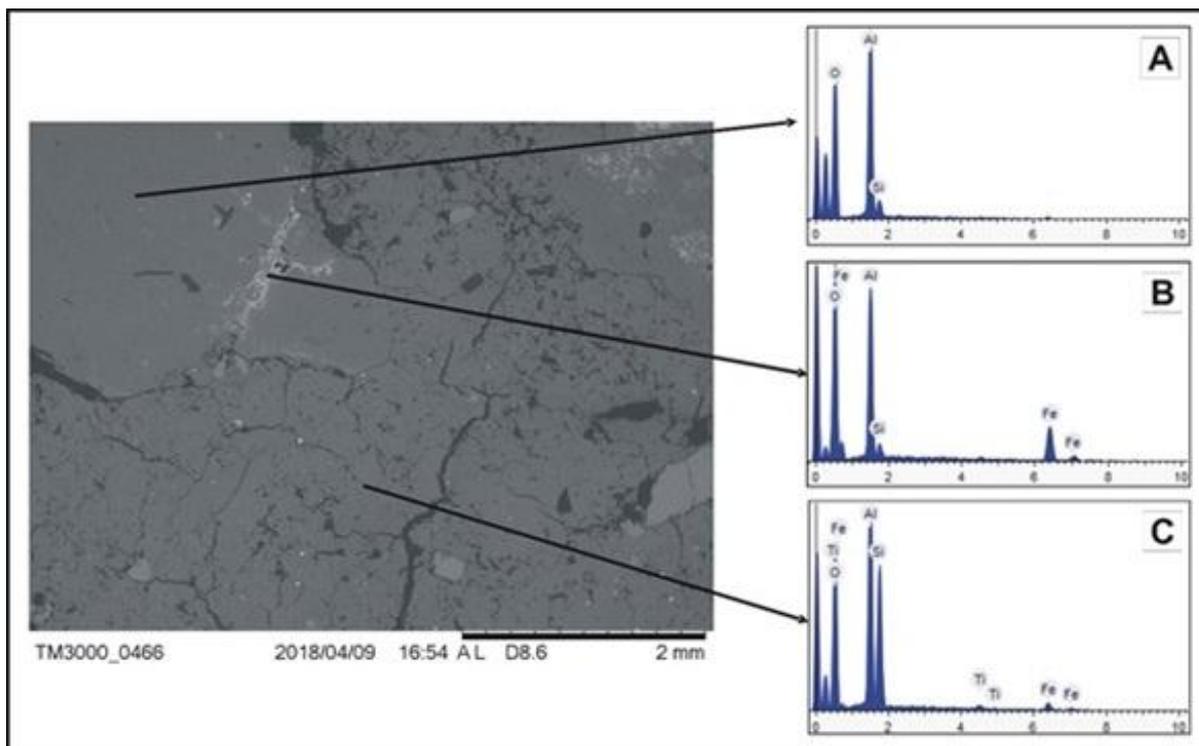


Figura 22- Fragmentos da argila da CAR em que a zona em tom de cinza localizada na parte de superior do lado esquerdo (sem fissuras) corresponde à gibbsita com caulinita subordinada (A). A zona branca irregular é composta essencialmente por gibbsita com hematita e ainda caulinita restrita. (B). A zona com cinza escuro (com fissuras) representa o domínio da caulinita (C).

5.3 MINERALOGIA DAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS (0,500, 0,500 – 0,250, 0,250 – 0,125, 0,125 – 0,063 mm) DOS HBNB, HBNI e HBNT DAS MINAS BELA CRUZ E MONTE BRANCO

Como já descrito anteriormente, o horizonte bauxítico nodular das minas Bela Cruz e Monte Branco é formado por nódulos de diversos tamanhos que diminuem da base para o topo. Por conta disto, despertou-se o interesse em separar os fragmentos nas frações granulométricas 0,500, 0,500 – 0,250, 0,250 – 0,125, 0,125 – 0,063 mm dos HBNB, HBNI e HBNT para caracterização mineralógica e comparação com a mineralogia dos nódulos bauxíticos > 0,500 mm, da matriz argilosa e da cobertura argilosa. Ao analisar os difratogramas das frações observou-se que a fração granulométrica 0,500 mm dos HBNB, HBNI e HBNT é formada essencialmente por gibbsita, com caulinita, hematita, quartzo e anátasio subordinados (Figura 23). Essa composição mineralógica é semelhante a dos nódulos bauxíticos > 0,500 mm dos HBNB, HBNI e HBNT já apresentados anteriormente. Por outro lado, as frações < 0,500 mm (0,500 – 0,250, 0,250 – 0,125 e 0,125 – 0,063 mm) são formadas por caulinita e gibbsita, tendo hematita, quartzo e anátasio subordinadamente (Figura 23), que se equivale à composição das matrizes dos HBNB, HBNI e HBNT e da cobertura argilosa (CAR) já apresentados.

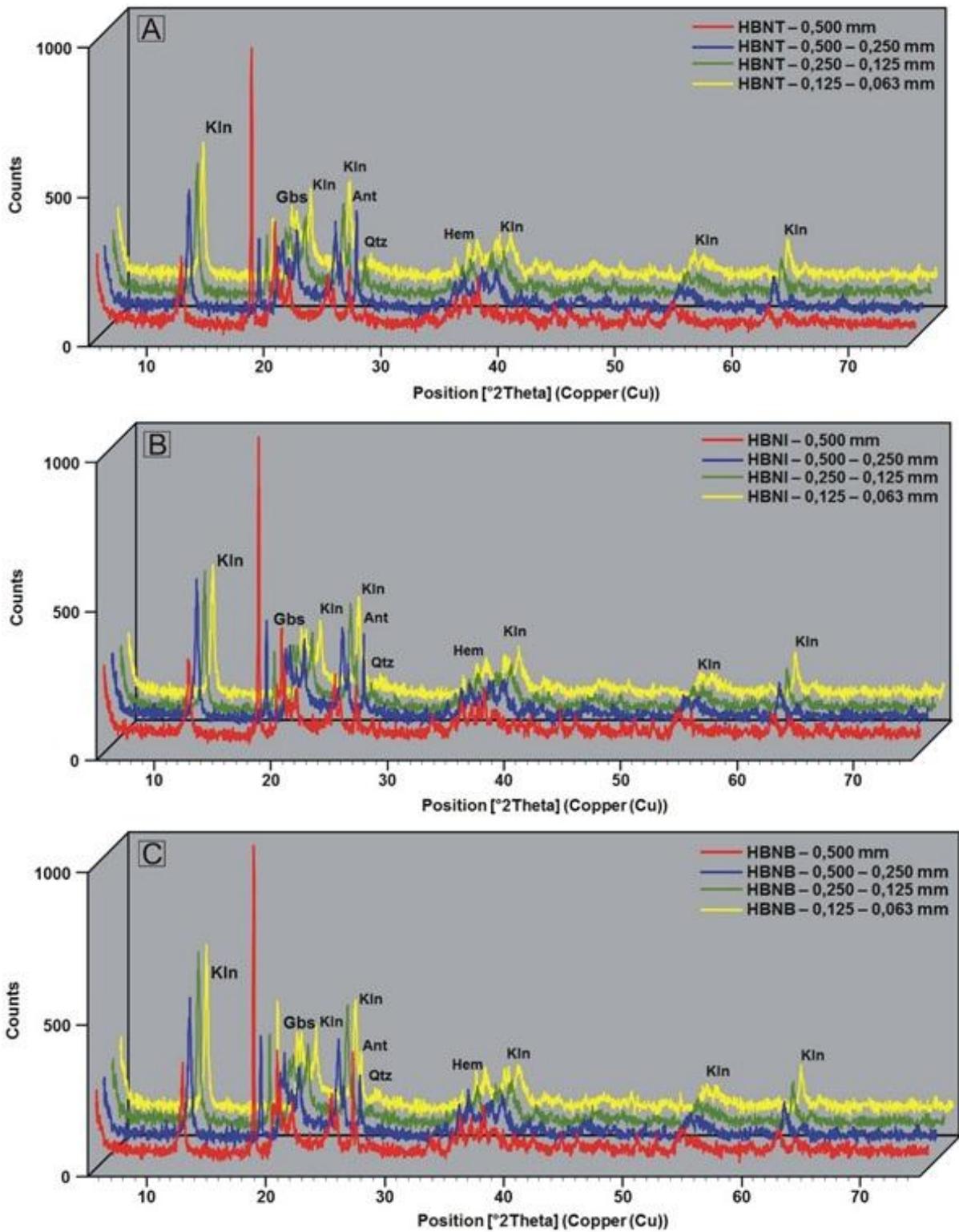


Figura 23- Constituição mineralógica das frações granulométricas (0,500, 0,500 – 0,250, 0,250 – 0,125 e 0,125 – 0,063 mm) dos HBNB (C), HBNI (B) e HBNT (A) das minas Bela Cruz e Monte Branco, obtida por: Gibbsita (Gbs); caulinita (Kln); hematita (Hem); quartzo (Qtz); anatásio (Ant).

6 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

6.1 ELEMENTOS MAIORES

A composição química dos horizontes bauxítico (HBX), bauxítico nodular (HBNB, HBNI, HBNT) e da cobertura argilosa (CAR) dos perfis investigados das minas Bela Cruz e Monte Branco é constituída basicamente por Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 e TiO_2 , que somados a perda ao fogo (PF) representam em média 99,60%. Essa composição química corrobora com a caracterização mineralógica obtida (Tabelas 1, 2 e 3), gibbsita, caulinita, hematita, goethita e anatásio.

Elementos maiores e menores como CaO, MgO, Na_2O , K_2O , MnO e P_2O_5 exibem, em geral, teores abaixo de 0,1% em todos os horizontes dos perfis estudados. As baixas concentrações dos teores desses componentes, sugerem que se presentes na rocha-mãe dessas bauxitas e cobertura foram fortemente lixiviados durante o intemperismo e lateritização. Teores muito baixo desses elementos e decrescentes abruptamente em direção ao topo, são típicos de perfis lateríticos (Costa 1991, Costa *et al.* 2014).

Os teores de Al_2O_3 variam de 34,5 a 57,5% e de perda ao fogo (PF) de 16,7 a 29,5%. Os teores mais elevados de Al_2O_3 assim como perda ao fogo refletem a predominância de gibbsita, com caulinita subordinada. Esses valores são encontrados principalmente nos fragmentos $> 0,500$ e $\sim 0,500$ mm dos HBX, HBNB, HBNI e HBNT dos perfis das duas minas. As menores concentrações de Al_2O_3 e perda ao fogo encontram-se na CAR assim como nos fragmentos $< 0,500$ mm e matriz argilosa dos HBX, HBNB, HBNI e HBNT, dominados por caulinita seguida pela gibbsita.

Os teores de SiO_2 oscilam de 6,31 a 37,4%. A concentração alta de SiO_2 com valores relativamente constantes na ordem de 34% encontram-se na CAR, na matriz argilosa e nos fragmentos $< 0,500$ mm dos HBX e HBNB, HBNI e HBNT de todos os perfis, os quais refletem o domínio da caulinita, sendo o quartzo muito restrito. As baixas concentrações SiO_2 encontram-se nos fragmentos $> 0,500$ mm do HBX, amostrado somente na mina Monte Branco, com teor de 6,31%, corresponde a caulinita intercrescida com gibbsita, que é o mineral dominante. Nos HBNB, HBNI e HBNT da mina Bela Cruz, os teores de SiO_2 variam de 6,72 a 9,09%, enquanto na mina Monte Branco apresentam valores um pouco mais elevados que variam de 8,56 a 15,9%. Eles também refletem a presença de caulinita, raramente de quartzo, como já demonstrado por DRX e microscopia ótica e MEV/EDS. Os teores de Fe_2O_3 oscilam

de 3,72 a 13,9 % e estão associados unicamente a hematita, raramente goethita, que são em geral criptocristalinos. Em geral, as concentrações de Fe_2O_3 nas amostras encontram-se abaixo de 10%. Os teores de TiO_2 variam de 1,19 a 2,14 e constituem o anatásio e o rutilo. Por outro lado as concentrações de TiO_2 são mais elevadas na CAR, na matriz argilosa e nos fragmentos $< 0,500$ mm, na ordem de 2,8%. Grãos raros de ilmenita foram observados somente nas análises de imagens e química por MEV/EDS. Os valores de TiO_2 são sempre mais elevados nas matrizes, nas frações mais finas (0,250 – 0,125 e 0,125 – 0,063 mm) e CAR a cobertura tipo Argila de Belterra. O aumento dos teores desse elemento para em direção ao topo dos perfis é típica nos perfis laterito-bauxíticos da Amazônia (Kotschoubey *et al.* 2005, Costa *et al.* 2014, Santos *et al.* 2016).

Tabela 1- Composição química dos elementos maiores e menores (%) e traço (ppm) das amostras (fragmentos > 0,500 mm) representativas dos perfis confrontadas com a composição média da crosta continental superior segundo Rudnick & Gao (2003). Legenda: HBX (Horizonte bauxítico); HBNB (Horizonte bauxítico nodular base); HBNI (Horizonte bauxítico nodular intermediário); HBNT (Horizonte bauxítico nodular topo).

(continua)

Perfil	Perfil 1 - CBC001		Perfil 2 - CBC002			Perfil 3 - CBC003		Perfil 4 - CBC004			Perfil 5 - CMB001		Perfil 6 - CMB002			Perfil 7 - CMB003		Média Crustal
Horizonte	HBNB	HBNT	HBNB	HBNI	HBNT	HBNB	HBNT	HBNB	HBNI	HBNT	HBNB	HBNT	HBX	HBNB	HBNT	HBNB	HBNT	
Amostra	Fragmento > 0,500 mm																	
SiO ₂	6.91	7.44	6.72	6.92	8.6	7.42	8.22	7.88	8.54	9.09	8.56	10.6	6.31	15.45	11.55	13.05	15.9	66.62
Al ₂ O ₃	57.1	54.2	57.5	56.8	54.3	56.5	54.4	55.6	54.1	55.1	55.7	54.7	57.5	49.1	47.7	47.2	50.9	15.4
Fe ₂ O ₃	3.72	6.48	4.37	4.85	5.46	5.28	7.04	5.78	5.65	5.77	4.22	5.63	4.66	8.9	13.9	11.75	4.8	5.04
CaO	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.03	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.03	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	3.59
MgO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.48
Na ₂ O	0.03	<0.01	0.04	0.03	0.03	0.05	0.06	0.03	0.02	0.01	0.06	0.06	0.08	0.08	0.06	0.04	0.04	3.27
K ₂ O	0.01	<0.01	0.03	0.03	0.02	0.05	0.05	0.05	0.03	0.02	0.05	0.06	0.08	0.07	0.06	0.07	0.07	2.8
Cr ₂ O ₃	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	-
TiO ₂	1.4	1.27	1.47	1.39	1.25	1.38	1.3	1.3	1.22	1.19	1.25	1.21	1.42	1.65	1.38	1.8	1.82	0.64
MnO	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.1
P ₂ O ₅	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	<0.01	0.01	0.01	0.01	<0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.15
SrO	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	-
BaO	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	-
PF	29.5	28.4	29.4	29.2	28.4	28.6	28	29	29.1	28.9	28.8	27.9	28.7	24.7	24.7	25	26.5	-
Total	98.71	97.86	99.57	99.26	98.1	99.32	99.15	99.68	98.7	100.12	98.68	100.21	98.82	100.01	99.41	98.97	100.08	-
C	0.17	0.14	0.13	0.11	0.2	0.12	0.13	0.1	0.15	0.15	0.15	0.14	0.08	0.11	0.12	0.14	0.19	-
S	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.06	0.04	0.01	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01	621
Ba	4.3	23.2	3.4	3.6	3.6	3.3	4.2	3.1	3.3	2.9	3.3	3.3	2.3	4.5	4.1	4.6	5.5	624
Cr	110	140	120	150	160	170	190	120	120	160	150	180	150	190	210	190	160	92
Cs	0.04	0.07	0.02	0.01	0.04	0.02	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.05	0.03	<0.01	0.02	4.9
Ga	61.1	64.1	58.5	65	61.4	64.5	62.8	69.7	71	63.9	57.8	59.1	62	73.7	73.7	78.8	70.4	17.5
Ge	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	1.4
Hf	18.1	19.1	17.4	17.3	16.1	18.1	15.9	21.1	19.2	18	19.7	17.2	17.9	26.6	22.4	28.3	28.8	5.3
Nb	38.4	38.7	37.2	37.7	35.3	36.8	33.8	37	35	32.2	37.9	33	38.6	46.3	40.6	52	54.5	12

(continuação)

Perfil	Perfil 1 - CBC001		Perfil 2 - CBC002			Perfil 3 - CBC003		Perfil 4 - CBC004			Perfil 5 - CMB001		Perfil 6 - CMB002			Perfil 7 - CMB003		Média Crustal
Horizonte	HBNB	HBNT	HBNB	HBNI	HBNT	HBNB	HBNT	HBNB	HBNI	HBNT	HBNB	HBNT	HBX	HBNB	HBNT	HBNB	HBNT	
Amostra	Fragmento > 0,500 mm																	
Rb	0.2	2	<0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	84
Sn	6	263	6	6	6	5	5	6	6	6	5	4	7	6	6	8	9	2.1
Sr	3.9	5	3.5	3.8	3.8	3.8	4.1	3.3	3.7	3.5	4	3.9	2.2	4.9	4.4	5.5	5.9	320
Ta	3	5.7	3.1	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	2.7	2.5	3.1	2.6	3.1	3.7	3.3	4.1	4.2	0.9
Th	37.9	40.7	37.1	36.8	35.2	37.7	36.4	37.6	33.1	33.1	37	34.2	35.3	49	53.6	54.6	51.5	10.5
U	3.31	3.72	3.19	3.04	2.98	3.19	3.02	3	2.68	2.68	2.96	2.61	2.85	3.76	3.34	3.92	3.9	2.7
V	89	121	152	153	122	125	153	154	104	121	107	133	236	395	598	258	111	97
W	8	68	5	6	7	6	5	5	5	5	5	4	6	6	6	6	6	1.9
Y	11.5	21.2	10.7	11.2	9.8	10.5	9.6	10.3	10.1	8.9	10.4	9.2	9.2	13.5	11.5	13.6	13.2	21
Zr	730	745	642	672	645	725	614	756	731	664	772	686	676	996	827	1060	1070	193
As	2	9.6	2.6	5.9	8.5	4.8	10	6	6.3	5.2	3.3	6.2	2.2	9.7	28.5	12.2	2.6	4.8
Bi	0.21	0.5	0.21	0.21	0.24	0.24	0.37	0.28	0.29	0.31	0.22	0.28	0.3	0.34	0.61	0.4	0.25	0.16
Hg	0.687	0.585	0.372	0.505	0.402	0.539	0.463	0.624	0.294	0.255	0.309	0.324	0.24	0.263	0.395	0.501	0.353	0.05
In	0.087	0.161	0.097	0.097	0.104	0.106	0.111	0.085	0.098	0.105	0.088	0.099	0.121	0.149	0.227	0.173	0.117	0.056
Re	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.198
Sb	0.17	0.25	0.35	0.29	0.22	0.26	0.28	0.45	0.24	0.22	0.21	0.26	0.54	0.45	0.85	0.22	0.08	0.4
Se	<0.2	0.3	<0.2	<0.2	<0.2	0.2	0.2	0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.2	0.4	0.4	<0.2	0.09
Te	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05	0.08	0.07	0.07	0.04	0.05	0.14	0.05	0.09	0.12	0.06	-
Tl	<0.02	0.16	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.9
Ag	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.5	<0.5	0.5	0.5	0.5	<0.5	53
Cd	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.09
Co	6	1	1	<1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	<1	<1	<1	17.3
Cu	1	3	1	1	1	2	1	1	1	<1	1	3	1	1	1	1	3	28
Li	<10	<10	<10	<10	<10	10	10	<10	10	<10	10	<10	10	10	10	<10	<10	21
Mo	1	2	2	1	1	7	5	1	1	1	1	2	1	3	6	4	<1	1.1
Ni	2	3	2	2	2	24	17	2	7	5	4	3	2	4	3	3	2	47
Pb	2	21	13	16	<2	5	18	10	5	3	<2	5	<2	2	5	<2	6	17

(conclusão)

Perfil	Perfil 1 - CBC001		Perfil 2 - CBC002			Perfil 3 - CBC003		Perfil 4 - CBC004			Perfil 5 - CMB001		Perfil 6 - CMB002			Perfil 7 - CMB003		Média Crustal	
	Horizonte	HBNB	HBNT	HBNB	HBNI	HBNT	HBNB	HBNT	HBNB	HBNI	HBNT	HBNB	HBNT	HBX	HBNB	HBNT	HBNB		HBNT
Amostra	Fragmento > 0,500 mm																		
Sc	4	3	3	4	4	3	3	3	4	3	4	4	3	6	4	4	4	4	14
Zn	<2	23	5	7	2	5	12	<2	7	2	4	8	5	22	4	<2	3	67	
La	4.9	15.5	4.1	4.3	4.1	4.1	4.1	4.4	3.9	3.6	5	4.6	3.1	7.1	6.5	8	8.3	31	
Ce	8.9	34.6	7.5	7.8	7.4	7.5	7.7	7.7	7.6	6.8	8.3	7.9	5.6	11.5	10.6	14.1	14.9	63	
Pr	0.9	3.95	0.72	0.78	0.71	0.74	0.74	0.66	0.64	0.63	0.76	0.73	0.41	1.04	1.02	1.23	1.41	7.1	
Nd	2.7	13.6	2.3	2.6	2.5	2.5	2.4	2.5	2.3	2.1	2.6	2.4	1.5	3.4	2.9	4.1	4.2	27	
Sm	0.8	2.85	0.61	0.65	0.67	0.55	0.58	0.52	0.46	0.52	0.53	0.52	0.46	0.71	0.66	0.76	0.89	4.7	
Eu	0.14	0.24	0.12	0.13	0.09	0.18	0.11	0.11	0.11	0.07	0.09	0.09	0.07	0.15	0.09	0.17	0.16	1	
ΣETRL	18.34	70.74	15.35	16.26	15.47	15.57	15.63	15.89	15.01	13.72	17.28	16.24	11.14	23.9	21.77	28.36	29.86	-	
Gd	0.92	2.86	0.93	0.87	0.66	0.88	0.76	0.79	0.75	0.68	0.81	0.69	0.78	1.07	0.83	1.15	1.16	4	
Tb	0.15	0.45	0.14	0.15	0.12	0.19	0.15	0.19	0.14	0.16	0.15	0.1	0.13	0.2	0.15	0.28	0.24	0.7	
Dy	1.58	3.18	1.48	1.49	1.28	1.47	1.24	1.29	1.39	1.2	1.33	1.33	1.28	1.7	1.56	1.79	1.88	3.9	
Ho	0.4	0.67	0.36	0.35	0.29	0.35	0.31	0.33	0.33	0.31	0.36	0.24	0.31	0.43	0.4	0.5	0.47	0.83	
Er	1.54	2.39	1.47	1.41	1.09	1.49	1.18	1.39	1.36	1.17	1.39	0.94	1.28	1.76	1.7	1.76	1.98	2.3	
Tm	0.29	0.37	0.3	0.31	0.29	0.26	0.24	0.26	0.25	0.24	0.29	0.25	0.26	0.41	0.31	0.34	0.33	0.3	
Yb	2.2	2.92	2.03	2.23	1.8	2.09	1.86	2.16	2.03	1.86	2.26	1.85	1.79	2.77	2.44	2.74	2.91	2	
Lu	0.38	0.46	0.38	0.34	0.33	0.37	0.35	0.38	0.36	0.31	0.4	0.29	0.3	0.48	0.41	0.51	0.5	0.31	
ΣETRP	7.46	13.3	7.09	7.15	5.86	7.1	6.09	6.79	6.61	5.93	6.99	5.69	6.13	8.82	7.8	9.07	9.47	-	
ΣET(total)	25.8	84.04	22.44	23.41	21.33	22.67	21.72	22.68	21.62	19.65	24.27	21.93	17.27	32.72	29.57	37.43	39.33	-	
Zr/Hf	40.33	39.01	36.90	38.84	40.06	40.06	38.62	35.83	38.07	36.89	39.19	39.88	37.77	37.44	36.92	37.46	37.15	-	
Nb/Ta	12.80	6.79	12.00	13.46	12.61	13.14	12.07	12.76	12.96	12.88	12.23	12.69	12.45	12.51	12.30	12.68	12.98	-	
EuN/Eu*	0.50	0.25	0.49	0.53	0.41	0.79	0.51	0.52	0.57	0.36	0.42	0.46	0.35	0.53	0.37	0.55	0.48	-	

Tabela 2- Composição química dos elementos maiores e menores (%) e traço (ppm) das amostras (matrizes e cobertura) representativas dos perfis confrontadas com a composição média da crosta continental superior segundo Rudnick & Gao (2003). Legenda: HBX (Horizonte bauxítico); HBNB (Horizonte bauxítico nodular base); HBNI (Horizonte bauxítico nodular intermediário); HBNT (Horizonte bauxítico nodular topo); CAR (Cobertura argilosa).

(continua)

Perfil	Perfil 1 - CBC001		Perfil 2 - CBC002			Perfil 3 - CBC003		Perfil 4 - CBC004				Perfil 5 - CMB001		Perfil 6 - CMB002			Perfil 7 - CMB003			Média Matrizes	Média CAR	Média Crustal
	Horizonte	HBNB	HBNT	HBNB	HBNI	HBNT	HBNB	HBNT	HBNB	HBNI	HBNT	CAR	HBNB	HBNT	HBX	HBNB	HBNT	HBNB	HBNT			
Amostra	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Fragmento Base	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Fragmento Base		
SiO ₂	35.8	35.1	33.1	35.7	37	34.9	34.2	34.7	35.9	35.4	34.2	34.7	34.4	32.8	31.8	31.8	33.4	33	32.8	34.34	33.5	66.62
Al ₂ O ₃	35.6	35.9	36.9	36.6	37.1	35.8	37.8	37.3	36.8	36.5	38.1	36.5	36.5	40.3	40.1	39.7	39.4	39.5	39.5	37.5	38.8	15.4
Fe ₂ O ₃	8.56	8.41	8.72	8.54	8.53	8.27	8.42	8.1	8.07	8.13	7.92	9.61	9.85	5.95	7.3	7.02	6.48	6.2	5.96	8.01	6.94	5.04
CaO	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.06	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.03	-	3.59
MgO	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	2.48
Na ₂ O	0.03	0.02	0.04	0.04	0.04	<0.01	0.05	0.04	0.03	0.01	0.01	0.07	0.06	0.11	0.08	0.07	0.1	0.04	0.01	0.05	0.01	3.27
K ₂ O	0.03	0.02	0.04	0.04	0.05	<0.01	0.06	0.06	0.05	0.05	0.03	0.07	0.07	0.1	0.08	0.07	0.09	0.06	0.04	0.06	0.04	2.8
Cr ₂ O ₃	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	-
TiO ₂	2.82	2.78	2.85	2.95	3.01	2.81	2.81	2.84	2.84	2.76	2.44	2.93	2.94	3.05	2.99	3.16	2.98	2.87	2.68	2.91	2.56	0.64
MnO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	0.01	0.01	0.1
P ₂ O ₅	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.15
SrO	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	-	-	-
BaO	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	-	-	-
PF	15.9	16.5	17	16.1	16.1	16.25	17.1	17.15	16.9	17	18.35	16.5	16.85	17.75	17.85	18.05	18.15	18	18.6	17	18.48	-
Total	98.82	98.81	98.72	100.05	101.91	98.11	100.52	100.26	100.67	99.93	101.12	100.47	100.75	100.18	100.26	99.91	100.67	99.71	99.65	99.99	100.39	-
C	0.24	0.25	0.21	0.26	0.22	0.28	0.34	0.22	0.29	0.29	0.45	0.28	0.48	0.13	0.13	0.15	0.17	0.16	0.21	0.24	0.33	-
S	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.06	0.02	0.02	0.03	0.03	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	621
Ba	12.8	12.2	10.4	11.6	11.1	10	12.9	12	11.5	14.8	10.9	10.3	11.5	7.8	8	8.3	11	7.7	7.6	10.8	9.25	624
Cr	140	120	140	130	130	120	140	130	120	120	150	130	150	160	160	160	140	140	150	137	150	92
Cs	0.1	0.09	0.06	0.08	0.09	0.06	0.07	0.05	0.07	0.11	0.1	0.07	0.05	0.04	0.05	0.03	0.04	0.02	0.03	0.06	0.07	4.9
Ga	73.7	71.3	73.5	72.9	75.4	65.8	70.9	80.6	75.3	72	70	68.5	69.6	66.9	74.7	74.4	80.1	78.7	77.7	73.2	73.9	17.5
Ge	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	-	-	1.4
Hf	55.8	46.8	47.1	47.4	52.2	43	43.8	60.2	55.6	55.9	40.6	44.4	46.2	53	52.4	56	55.7	49.3	44.4	50.9	42.5	5.3
Nb	83.6	82.4	80.9	82.6	86.5	76.9	76.3	87.9	82.3	75.3	65.7	79.5	78.7	81.9	84.5	86.7	84.4	84.1	79.3	82.0	72.5	12

(continuação)

Perfil	Perfil 1 - CBC001		Perfil 2 - CBC002			Perfil 3 - CBC003		Perfil 4 - CBC004				Perfil 5 - CMB001		Perfil 6 - CMB002			Perfil 7 - CMB003			Média Matrizes	Média CAR	Média Crustal
	Horizonte	HBNB	HBNT	HBNB	HBNI	HBNT	HBNB	HBNT	HBNB	HBNI	HBNT	CAR	HBNB	HBNT	HBX	HBNB	HBNT	HBNB	HBNT			
Amostra	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Fragmento Base	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Fragmento Base		
Rb	0.7	0.7	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.8	0.8	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.7	0.3	0.2	0.6	0.5	84
Sn	25	14	13	12	13	11	11	13	15	12	10	14	13	12	12	13	22	12	12	14	11	2.1
Sr	12.6	12.4	10.8	11.6	12.6	10.9	11.5	13.4	12.8	14.4	12.4	13.6	14.8	8.4	9.6	10.6	9.9	9.7	9.5	11.7	11	320
Ta	6.5	5.8	5.7	6.3	6.4	5.8	5.4	6.1	6.1	5.3	4.4	5.8	5.9	6.1	6.2	6.4	6.1	6	5.9	6	5.15	0.9
Th	72.9	67.5	71.1	66.9	74.1	64.3	65.5	71.1	66.6	64.7	54	72.4	74.5	82.4	83.5	86.9	78.2	76.4	71.1	72.9	62.6	10.5
U	7.68	7.06	7.5	7.35	7.71	6.8	6.91	7.32	6.87	6.61	5.35	6.28	6.49	7.02	7.24	7.38	6.59	6.12	5.97	7	5.66	2.7
V	175	161	188	164	168	157	167	162	153	156	148	167	182	219	222	222	135	128	129	172.1	138.5	97
W	11	11	8	9	10	8	8	9	8	9	7	8	8	9	9	10	8	9	8	8.9	7.5	1.9
Y	30.5	28.7	27.3	28.4	31.5	24.7	26.2	29.6	28.4	27.4	21.8	25.3	24.5	23.2	28.5	26.5	23.5	22.6	20.1	26.9	20.95	21
Zr	2060	1820	1900	1860	2160	1670	1770	2300	2090	2110	1580	1680	1690	2020	2140	2220	2190	1840	1630	1972	1605	193
As	1.6	1.7	1.9	1.5	1.7	1.5	1.9	1.8	1.7	1.7	1.7	1.9	1.5	1.3	2	2.7	2.1	1.6	2	1.8	1.85	4.8
Bi	0.36	0.34	0.38	0.35	0.35	0.37	0.36	0.38	0.35	0.33	0.39	0.39	0.37	0.32	0.34	0.38	0.38	0.35	0.36	0.4	0.38	0.16
Hg	0.093	0.142	0.195	0.16	0.091	0.126	0.188	0.125	0.106	0.096	0.269	0.12	0.173	0.12	0.154	0.097	0.089	0.06	0.093	0.13	0.18	0.05
In	0.126	0.125	0.128	0.118	0.118	0.122	0.129	0.11	0.097	0.098	0.096	0.142	0.136	0.129	0.129	0.138	0.109	0.103	0.1	0.12	0.10	0.056
Re	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.001	0.198
Sb	0.11	0.12	0.18	0.11	0.11	0.12	0.12	0.15	0.13	0.09	0.14	0.08	0.09	0.12	0.12	0.1	0.07	0.06	0.06	0.11	0.10	0.4
Se	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	-	0.2	0.09
Te	0.05	0.07	0.09	0.11	0.05	0.08	0.09	0.06	0.04	0.06	0.09	0.07	0.09	0.03	0.03	0.02	0.06	0.06	0.05	0.06	0.07	-
Tl	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	-	-	0.9
Ag	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	-	-	53
Cd	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	-	-	0.09
Co	<1	<1	<1	<1	<1	1	1	1	<1	1	2	1	<1	<1	1	<1	<1	2	<1	1.14	2	17.3
Cu	3	3	2	3	3	4	24	2	2	3	2	3	4	3	5	3	2	2	2	4.18	2	28
Li	<10	<10	<10	<10	<10	<10	10	10	<10	<10	<10	10	10	10	10	<10	<10	<10	<10	10.00		21
Mo	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	3	2	3	1	2	2	2	2	2	1.82	2.5	1.1
Ni	10	10	7	8	7	8	10	7	8	9	23	9	9	6	6	5	5	5	5	7.59	14	47
Pb	8	6	15	44	6	11	15	8	9	10	10	6	6	5	10	7	6	7	6	10.53	8	17

(conclusão)

Perfil	Perfil 1 - CBC001		Perfil 2 - CBC002			Perfil 3 - CBC003		Perfil 4 - CBC004				Perfil 5 - CMB001		Perfil 6 - CMB002			Perfil 7 - CMB003			Média Matrizes	Média CAR	Média Crustal
Horizonte	HBNB	HBNT	HBNB	HBNI	HBNT	HBNB	HBNT	HBNB	HBNI	HBNT	CAR	HBNB	HBNT	HBX	HBNB	HBNT	HBNB	HBNT	CAR			
Amostra	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Fragmento Base	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Matriz Argilosa	Fragmento Base		
Sc	13	12	12	12	13	11	11	11	11	11	9	12	12	13	12	11	8	10	9	11.47	9	14
Zn	9	20	8	28	5	12	53	7	11	7	10	12	23	7	13	6	7	<2	6	14.25	8	67
La	14.9	14.1	12.1	13.2	13.7	12.3	12.4	17.3	16.8	16.4	14.3	14.1	15.2	13.4	13.2	14.1	13.9	12.9	13.4	14.12	13.85	31
Ce	25	23.3	20.2	22.4	22.7	19.7	20.4	27.4	25.7	25.7	23	23.1	24	20.8	21	22.4	35.1	22.5	23.6	23.6	23.3	63
Pr	2.42	2.38	2.04	2.16	2.3	1.97	1.93	2.41	2.43	2.39	2.13	2.21	2.45	1.85	1.86	2.19	2.18	2.05	2.13	2.19	2.13	7.1
Nd	8.3	7.8	6.7	7.5	7.5	6.9	6.8	7.8	7.9	7.7	6.9	7.4	7.8	5.8	6.3	6.9	7.4	6.9	7	7.26	6.95	27
Sm	1.8	1.77	1.56	1.66	1.52	1.55	1.56	1.76	1.67	1.78	1.52	1.4	1.84	1.47	1.27	1.7	1.61	1.41	1.49	1.61	1.51	4.7
Eu	0.33	0.29	0.28	0.33	0.37	0.28	0.3	0.39	0.31	0.4	0.32	0.29	0.39	0.25	0.28	0.34	0.4	0.3	0.26	0.33	0.29	1
ΣETRL	52.75	49.64	42.88	47.25	48.09	42.7	43.39	57.06	54.81	54.37	48.17	48.5	51.68	43.57	43.91	47.63	60.59	46.06	47.88	49.1	48.03	-
Gd	2.5	2.38	2.21	2.3	2.41	2.2	2.14	2.3	2.41	2.33	1.96	1.95	2.18	1.91	2.14	2.24	1.92	1.74	1.61	2.19	1.79	4
Tb	0.45	0.41	0.39	0.43	0.49	0.4	0.38	0.48	0.49	0.45	0.4	0.38	0.47	0.4	0.42	0.41	0.41	0.41	0.35	0.43	0.38	0.7
Dy	3.86	3.47	3.42	3.77	3.76	3.1	3.19	3.59	3.73	3.56	2.92	3.31	3.33	3.05	3.38	3.45	3.15	3.19	2.62	3.43	2.77	3.9
Ho	0.99	0.95	0.94	0.92	1.04	0.91	0.8	0.95	1	0.96	0.81	0.82	0.84	0.84	0.89	0.89	0.8	0.87	0.71	0.91	0.76	0.83
Er	4.01	3.76	3.36	3.64	3.89	3.14	3.34	3.68	3.31	3.4	2.77	3.25	3.14	3.06	3.58	3.6	3.01	3.03	2.51	3.42	2.64	2.3
Tm	0.79	0.73	0.63	0.63	0.69	0.64	0.56	0.73	0.67	0.63	0.53	0.62	0.62	0.65	0.75	0.65	0.56	0.59	0.47	0.66	0.50	0.3
Yb	5.9	5.16	5.17	5.11	5.72	4.49	4.55	5.7	5.52	5.2	4.33	4.61	4.61	4.93	5.27	5.3	4.87	5.08	4.09	5.13	4.21	2
Lu	1	0.94	0.87	0.87	1.02	0.93	0.83	1.02	0.92	0.88	0.74	0.83	0.83	0.85	1.02	0.94	0.86	0.84	0.76	0.91	0.75	0.31
ΣETRP	19.5	17.8	16.99	17.67	19.02	15.81	15.79	18.45	18.05	17.41	14.46	15.77	16.02	15.69	17.45	17.48	15.58	15.75	13.12	17.07	13.79	-
ΣETR(total)	72.25	67.44	59.87	64.92	67.11	58.51	59.18	75.51	72.86	71.78	62.63	64.27	67.7	59.26	61.36	65.11	76.17	61.81	61	66.18	51.82	-
Zr/Hf	36.92	38.89	40.34	39.24	41.38	38.84	40.41	38.21	37.59	37.75	38.92	37.84	36.58	38.11	40.84	39.64	39.32	37.32	36.71	38.78	37.81	-
Nb/Ta	12.86	14.21	14.19	13.11	13.52	13.26	14.13	14.41	13.49	14.21	14.93	13.71	13.34	13.43	13.63	13.55	13.84	14.02	13.44	13.70	14.19	-
EuN/Eu*	0.48	0.43	0.46	0.52	0.59	0.46	0.50	0.59	0.47	0.60	0.57	0.54	0.59	0.46	0.52	0.53	0.69	0.59	0.51	0.53	0.54	-

Tabela 3- Composição química dos elementos maiores e menores (%) e traço (ppm) das amostras nas frações granulométricas (0,500, 0,500 – 0,250, 0,250 – 0,125, 0,125 – 0,063 mm) representativas dos perfis confrontadas com a composição média da crosta continental superior segundo Rudnick & Gao (2003). Legenda: HBX (Horizonte bauxítico); HBNB (Horizonte bauxítico nodular base); HBNI (Horizonte bauxítico nodular intermediário); HBNT (Horizonte bauxítico nodular topo).

(continua)

Perfil	Perfil 4 - CBC004												Perfil 7 - CMB003								Média Crustal
Horizonte	HBNB				HBNI				HBNT				HBNB				HBNT				
Amostra	0,500 mm	0,500- 0,250 mm	0,250- 0,125 mm	0,125- 0,063 mm	0,500 mm	0,500- 0,250 mm	0,250- 0,125 mm	0,125- 0,063 mm	0,500 mm	0,500- 0,250 mm	0,250- 0,125 mm	0,125- 0,063 mm	0,500 mm	0,500- 0,250 mm	0,250- 0,125 mm	0,125- 0,063 mm	0,500 mm	0,500- 0,250 mm	0,250- 0,125 mm	0,125- 0,063 mm	
SiO ₂	27.7	35	34.6	34.5	26.6	37.4	35.6	35.8	26.2	37.4	36	35.7	18.9	31.5	32.2	32.7	19.35	32.6	33.4	33.5	66.62
Al ₂ O ₃	39.7	36.5	36.7	37	39.6	35.3	36.1	36.5	42.7	34.5	36.2	36.8	48.6	40.3	39.5	39.3	49	41.2	40.2	39.3	15.4
Fe ₂ O ₃	10.35	7.85	8	8.05	11.55	7.59	7.87	8.26	8.23	7.63	8.02	8.13	4.92	6.34	6.38	6.46	4.41	6.33	6.33	6.28	5.04
CaO	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.06	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	3.59
MgO	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	2.48
Na ₂ O	0.03	0.06	0.04	0.03	0.01	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.04	0.05	0.06	3.27
K ₂ O	0.06	0.07	0.07	0.06	0.04	0.05	0.05	0.05	0.03	0.05	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04	0.05	0.07	0.08	0.08	0.08	2.8
Cr ₂ O ₃	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	-
TiO ₂	2.13	2.61	2.79	2.83	1.88	2.61	2.78	2.83	1.86	2.52	2.73	2.77	2.05	2.86	2.98	3	1.9	2.87	2.93	2.89	0.64
MnO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.01	<0.01	0.1
P ₂ O ₅	0.02	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.03	0.08	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.15
SrO	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	-
BaO	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	-
PF	19.6	17.15	17.1	17.45	20.2	16.75	16.9	16.8	21.2	16.7	17.1	17.25	24.7	18.6	18.25	17.75	25.2	18.8	18.35	18.1	-
Total	99.64	99.3	99.37	100.01	99.96	99.79	99.41	100.45	100.3	98.9	100.2	100.79	99.26	99.7	99.42	99.32	100.01	101.98	101.4	100.25	-
C	0.18	0.22	0.22	0.25	0.2	0.27	0.29	0.26	0.21	0.29	0.29	0.33	0.14	0.19	0.15	0.16	0.14	0.16	0.17	0.15	-
S	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04	0.02	0.03	0.04	0.06	0.02	0.03	0.04	0.04	621
Ba	8	12.4	10.8	12.7	6.8	10.8	10.8	37	8.1	11.4	11.4	15.2	6	6.2	7.2	7.5	4.7	7.7	7.6	9.4	624
Cr	180	140	140	140	250	120	120	120	200	120	120	110	150	140	150	140	160	140	150	140	92
Cs	0.06	0.07	0.07	0.05	0.04	0.08	0.09	0.12	0.06	0.11	0.07	0.1	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.01	0.03	0.01	4.9
Ga	78.4	76.6	78.7	81.7	75.4	69.7	71.3	73.9	69.1	68.3	74.1	71.1	76.8	81	80.6	81.2	71.8	81.3	79	77.6	17.5
Ge	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	1.4
Hf	37.1	46	45.4	52.2	31.9	40.8	45.2	52.1	30.8	40.9	44.6	47.6	31.7	44.6	50.6	52.9	32.1	48.2	46.6	54.9	5.3

(continuação)

Perfil	Perfil 4 - CBC004												Perfil 7 - CMB003								Média Crustal
	HBNB				HBNI				HBNT				HBNB				HBNT				
	0,500 mm	0,500- 0,250 mm	0,250- 0,125 mm	0,125- 0,063 mm	0,500 mm	0,500- 0,250 mm	0,250- 0,125 mm	0,125- 0,063 mm	0,500 mm	0,500- 0,250 mm	0,250- 0,125 mm	0,125- 0,063 mm	0,500 mm	0,500- 0,250 mm	0,250- 0,125 mm	0,125- 0,063 mm	0,500 mm	0,500- 0,250 mm	0,250- 0,125 mm	0,125- 0,063 mm	
Nb	62.7	77	80.5	88.1	53.4	72.4	78.2	92.6	53.5	74.6	77.9	76.2	56.5	82	87.2	82.9	56.2	84.3	88.7	83.7	12
Rb	0.7	0.9	0.6	0.6	0.4	0.5	0.9	1	0.4	0.7	0.7	0.8	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	84
Sn	10	16	12	13	9	10	13	13	8	11	14	11	9	13	13	12	8	12	13	15	2.1
Sr	9.2	12.1	13.1	13.3	8	11.6	12.3	20.3	8.1	12.6	13.9	13.8	7.1	9.7	9.9	9.6	6.1	9.9	9.9	9.6	320
Ta	4.4	5.9	5.6	6.3	3.8	4.9	5.9	6	4	5.5	5.5	5.3	4.3	5.9	6.6	5.9	4.4	6.2	6.4	6	0.9
Th	58.9	66.6	67.9	67.4	52.7	62.2	68.1	66	50	57.5	61.6	64.8	53.8	72	75.9	75.2	52.7	75.3	75.9	78.1	10.5
U	5.25	6.27	6.7	6.9	4.36	6.01	6.73	6.99	4.23	5.55	6.14	6.51	4.14	6.07	6.17	6.2	4.06	6.53	5.92	6.7	2.7
V	256	170	166	168	237	145	156	162	178	140	152	149	115	131	135	136	99	126	131	126	97
W	12	8	8	8	17	7	8	8	18	8	8	8	8	8	9	8	12	8	8	8	1.9
Y	20.1	24.1	26	27.3	16.6	23	25.3	28.4	17.1	26.6	24.6	25.4	16.2	23.8	24.1	23.9	15.5	23.3	22.7	24.6	21
Zr	1380	1730	1740	2010	1220	1550	1680	2000	1150	1560	1690	1800	1240	1750	1920	2080	1180	1750	1780	2080	193
As	8.8	2.1	1.9	1.9	11.9	1.7	1.4	1.5	4.9	1.9	1.4	1.6	2.6	2	1.8	2	2.5	1.9	1.7	2	4.8
Bi	0.54	0.43	0.41	0.37	0.6	0.41	0.35	0.36	0.49	0.38	0.35	0.35	0.25	0.33	0.35	0.35	0.23	0.36	0.38	0.4	0.16
Hg	0.191	0.12	0.12	0.116	0.17	0.128	0.115	0.11	0.236	0.108	0.086	0.103	0.349	0.089	0.07	0.081	0.321	0.099	0.074	0.081	0.05
In	0.128	0.103	0.11	0.101	0.14	0.108	0.1	0.104	0.125	0.098	0.099	0.104	0.093	0.107	0.115	0.108	0.1	0.109	0.118	0.118	0.056
Re	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.198
Sb	0.47	0.16	0.14	0.15	0.35	0.12	0.12	0.1	0.27	0.12	0.12	0.12	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07	0.08	0.07	0.08	0.4
Se	0.2	0.2	0.2	0.3	<0.2	0.2	<0.2	<0.2	0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.2	0.2	0.09
Te	0.11	0.07	0.08	0.05	0.12	0.07	0.06	0.06	0.09	0.09	0.06	0.08	0.08	0.04	0.08	0.08	0.08	0.09	0.11	0.1	-
Tl	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.9
Ag	<0.5	<0.5	<0.5	0.5	0.7	<0.5	<0.5	<0.5	0.6	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	53
Cd	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.09
Co	3	1	1	1	10	1	<1	<1	6	<1	2	1	1	1	1	<1	15	1	<1	<1	17.3
Cu	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	9	3	1	2	2	2	1	2	2	2	28
Li	10	10	10	<10	<10	10	10	<10	10	10	<10	10	10	10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	21
Mo	3	1	1	2	3	1	2	1	3	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1.1

(conclusão)

Perfil	Perfil 4 - CBC004												Perfil 7 - CMB003								Média Crustal
	HBNB				HBNI				HBNT				HBNB				HBNT				
	0,500 mm	0,500- 0,250 mm	0,250- 0,125 mm	0,125- 0,063 mm	0,500 mm	0,500- 0,250 mm	0,250- 0,125 mm	0,125- 0,063 mm	0,500 mm	0,500- 0,250 mm	0,250- 0,125 mm	0,125- 0,063 mm	0,500 mm	0,500- 0,250 mm	0,250- 0,125 mm	0,125- 0,063 mm	0,500 mm	0,500- 0,250 mm	0,250- 0,125 mm	0,125- 0,063 mm	
Ni	4	6	7	7	5	7	6	7	5	8	9	9	6	4	4	4	3	5	4	5	47
Pb	15	5	7	11	6	11	11	12	9	3	6	7	2	5	6	3	4	3	6	7	17
Sc	8	10	9	10	5	10	11	9	6	9	9	11	4	9	10	10	4	8	8	10	14
Zn	2	4	7	6	8	10	12	10	4	13	17	10	<2	2	5	<2	<2	2	<2	4	67
La	12	16.8	17.1	17.5	9.6	15.7	16.9	25.1	9.8	15.5	16.3	17.3	9.2	12.7	13.5	13.2	8.4	12.9	13.8	13.2	31
Ce	18.9	30.2	26.8	27.4	15.4	24.1	25.2	42.3	15.3	23.7	25	27.3	16.1	22.5	23	23.2	15	22.5	23.4	26.1	63
Pr	1.7	2.24	2.41	2.5	1.39	2.22	2.27	4.13	1.42	2.19	2.37	2.6	1.5	2.04	2.14	2.08	1.34	2.1	2.11	2.07	7.1
Nd	5.6	7.4	7.6	8.2	4.6	7.3	7.6	14.3	4.6	7.1	7.2	8.4	4.9	6.9	6.8	6.9	4.5	6.7	6.6	6.7	27
Sm	1.42	1.83	1.74	1.87	1.03	1.55	1.59	2.63	1.12	1.46	1.71	1.82	1.02	1.46	1.44	1.51	1.07	1.36	1.39	1.49	4.7
Eu	0.22	0.36	0.32	0.39	0.24	0.3	0.34	0.67	0.22	0.28	0.36	0.43	0.23	0.31	0.34	0.28	0.2	0.29	0.29	0.35	1
ΣETRL	39.84	58.83	55.97	57.86	32.26	51.17	53.9	89.13	32.46	50.23	52.94	57.85	32.95	45.91	47.22	47.17	30.51	45.85	47.59	49.91	-
Gd	1.56	2.21	2.31	2.47	1.34	1.82	2.17	3	1.53	2.23	2.2	2.32	1.43	1.94	2	1.96	1.22	2.01	1.74	2.16	4
Tb	0.36	0.43	0.47	0.52	0.27	0.4	0.45	0.55	0.31	0.47	0.48	0.44	0.28	0.44	0.43	0.39	0.26	0.37	0.39	0.44	0.7
Dy	2.62	3.36	3.32	3.81	2.14	3.11	3.48	3.89	2.34	3.5	3.35	3.46	2.14	3.25	3.08	3.14	2.07	3.07	2.94	3.28	3.9
Ho	0.7	0.81	0.92	1.01	0.58	0.82	0.88	0.94	0.6	0.91	0.82	0.88	0.6	0.87	0.79	0.87	0.53	0.87	0.77	0.88	0.83
Er	2.64	3.18	3.23	3.65	2.04	2.95	3.14	3.61	2.23	3.35	3.12	3.36	2.08	2.97	3.13	3.1	2.03	3.25	2.7	3.34	2.3
Tm	0.5	0.57	0.64	0.66	0.38	0.5	0.57	0.67	0.42	0.6	0.57	0.6	0.39	0.56	0.58	0.6	0.39	0.67	0.53	0.64	0.3
Yb	3.8	4.84	5.21	5.23	3.25	4.2	5.15	5.29	3.37	5.02	4.81	4.7	3.21	4.74	5	4.9	3.25	5.16	4.55	5.25	2
Lu	0.67	0.79	0.83	0.91	0.56	0.77	0.8	0.85	0.58	0.84	0.81	0.85	0.58	0.76	0.88	0.87	0.58	0.81	0.73	0.87	0.31
ΣETRP	12.85	16.19	16.93	18.26	10.56	14.57	16.64	18.8	11.38	16.92	16.16	16.61	10.71	15.53	15.89	15.83	10.33	16.21	14.35	16.86	-
ΣETR(total)	52.69	75.02	72.9	76.12	42.82	65.74	70.54	107.93	43.84	67.15	69.1	74.46	43.66	61.44	63.11	63	40.84	62.06	61.94	66.77	-
Zr/Hf	37.20	37.61	38.33	38.51	38.24	37.99	37.17	38.39	37.34	38.14	37.89	37.82	39.12	39.24	37.94	39.32	36.76	36.31	38.20	37.89	-
Nb/Ta	14.25	13.05	14.38	13.98	14.05	14.78	13.25	15.43	13.38	13.56	14.16	14.38	13.14	13.90	13.21	14.05	12.77	13.60	13.86	13.95	-
EuN/Eu*	0.45	0.55	0.49	0.55	0.62	0.55	0.56	0.73	0.51	0.47	0.57	0.64	0.58	0.56	0.61	0.50	0.53	0.54	0.57	0.60	-

A partir do diagrama ternário $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ (Figura 24) foi possível identificar três grupos distintos na composição química. O grupo A é constituído pelos fragmentos $> 0,500$ mm que apresentam teores mais elevados de Al_2O_3 e os mais baixos de SiO_2 e Fe_2O_3 , dominados por gibbsita, com caulinita e hematita subordinados. O grupo B envolve fragmentos $> 0,500$ e $\sim 0,500$ mm, com concentrações intermediárias de Al_2O_3 com um ligeiro aumento dos teores de SiO_2 e Fe_2O_3 . Corresponde predominância de gibbsita e caulinita, e aumento no teor de hematita. O grupo C congrega as matrizes argilosas, os fragmentos $< 0,500$ mm, a CAR, bem como alguns fragmentos $\sim 0,500$ mm, que se destacam pelas altas concentrações de SiO_2 e baixos teores de Al_2O_3 e Fe_2O_3 . São as amostras com domínio de caulinita, com gibbsita e hematita subordinados (Figura 24).

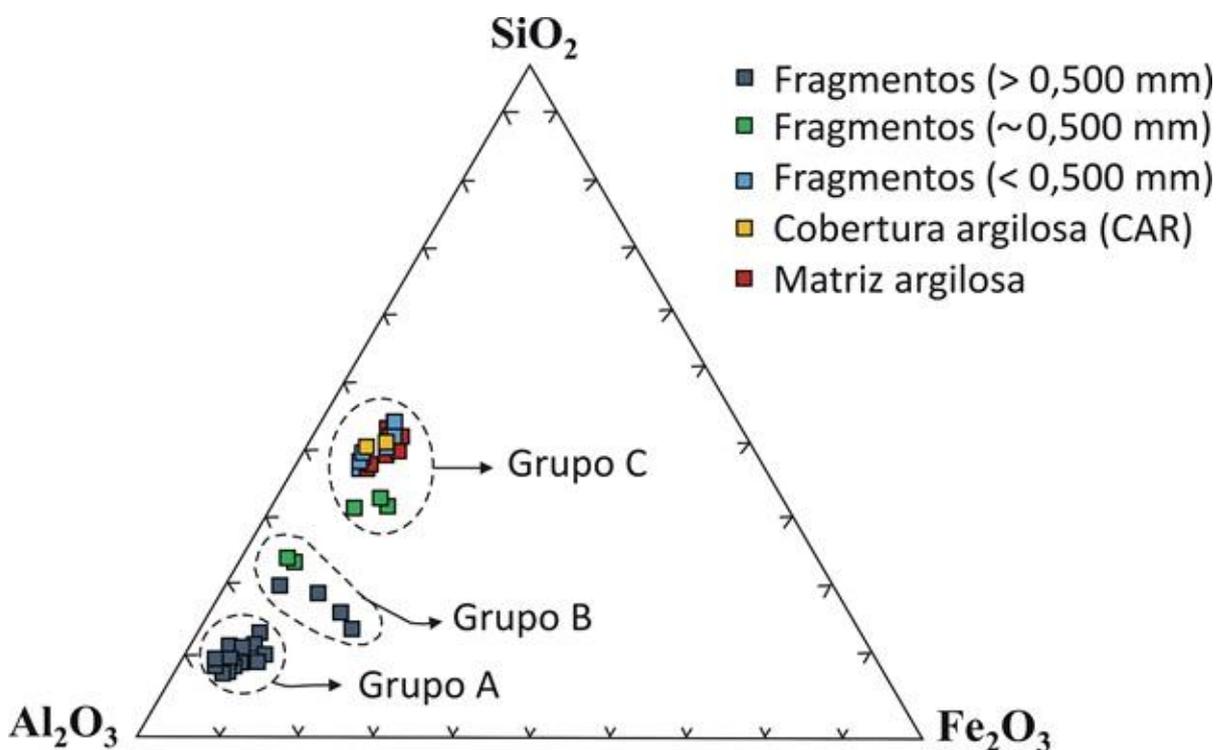


Figura 24- Diagrama ternário $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ mostrando a variação química ao longo dos horizontes dos perfis das minas Bela Cruz e Monte Branco conforme o tamanho dos fragmentos, a matriz e a CAR.

Na classificação de Bardossy (1982), a maioria dos fragmentos $> 0,500$ mm dos HBX, HBNB, HBNI e HBNT e fragmentos $\sim 0,500$ mm dos HBNB e HBNT foram classificados como bauxita pobre em Fe. Por outro lado, uma pequena parte dos fragmentos $> 0,500$ mm dos HBNB, HBNI e HBNT foram classificados como bauxita. Já os fragmentos $< 0,500$ mm dos HBNB, HBNI e HBNT, da matriz argilosa dos HBX, HBNB, HBNI, HBNT, da CAR e também parte dos fragmentos $\sim 0,500$ mm dos HBNB, HBNI e HBNT foram classificados como bauxita argilosa (Figura 25).

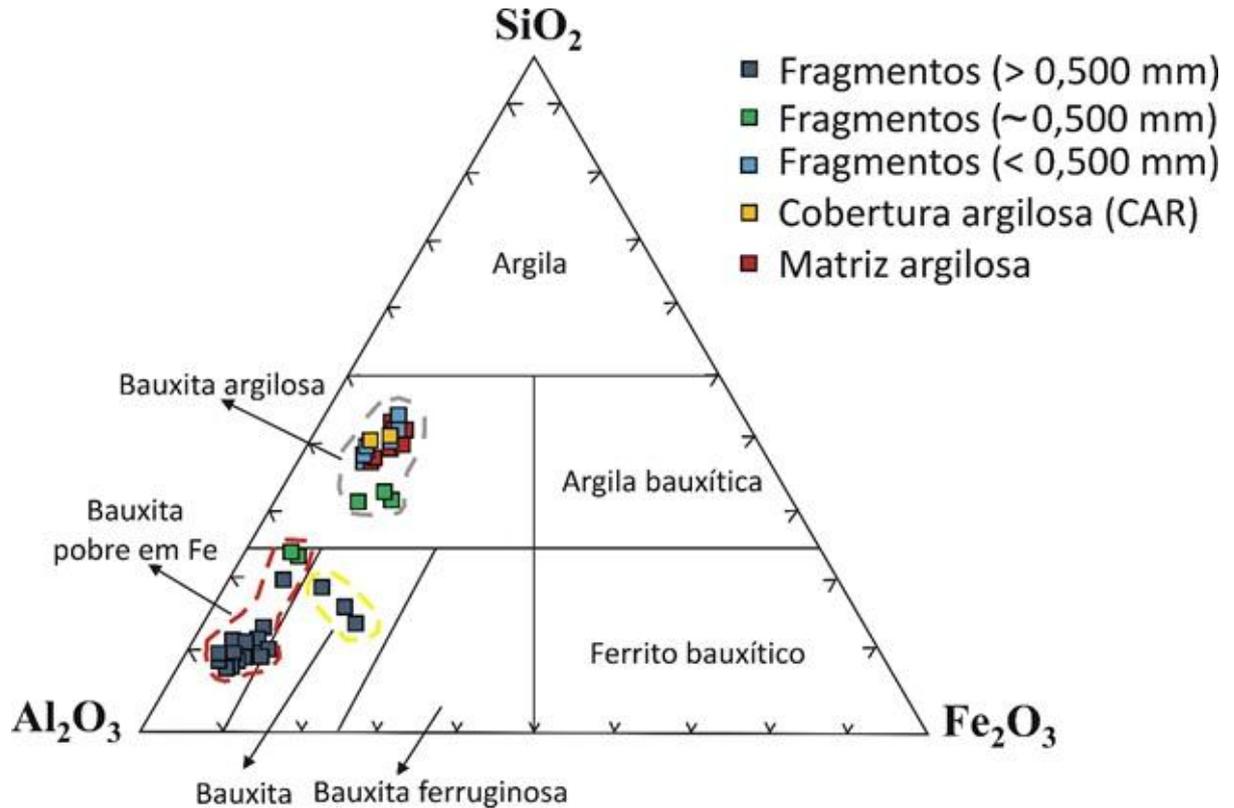


Figura 25- Classificação das amostras dos perfis estudados, com base nos teores de Al_2O_3 , SiO_2 e Fe_2O_3 segundo a classificação de Bardossy (1982).

As análises estatística de agrupamento demonstram que existem dois grupos principais de amostras com forte afinidade (Figura 26). O grupo I é formado por fragmentos $> 0,500$ mm. Estas amostras, como já mencionado, predominam a gibbsita. O grupo II é formado por fragmentos $< 0,500$ e $\sim 0,500$ mm, matriz argilosa, cobertura argilosa e fragmentos $> 0,500$ mm de maneira restrita. Estas amostras são as que têm o predomínio da caulinita e do quartzo, como já visto anteriormente.

Tabela 4- Composição química dos elementos maiores, Alap (alumina aproveitável) e Sire (sílica reativa) das frações granulométricas (0,500, 0,500 – 0,250, 0,250 – 0,125, 0,125 – 0,063 mm) peneiradas à úmido referentes ao HBNB do perfil 4.

Horizonte	HBNB			
Perfil	Perfil 4 - CBC004			
Amostra	0,500 mm	0,500 - 0,250 mm	0,250 - 0,125 mm	0,125 - 0,063 mm
Al ₂ O ₃	58,07	57,43	57,12	57,55
SiO ₂	4,87	5,45	5,48	5,29
Fe ₂ O ₃	4,05	4,14	4,19	4,53
TiO ₂	1,32	1,29	1,29	1,24
PF	30,57	30,13	30,22	30,09
Alap	54,22	53,84	53,76	53,57
Sire	4,51	4,42	4,67	4,61

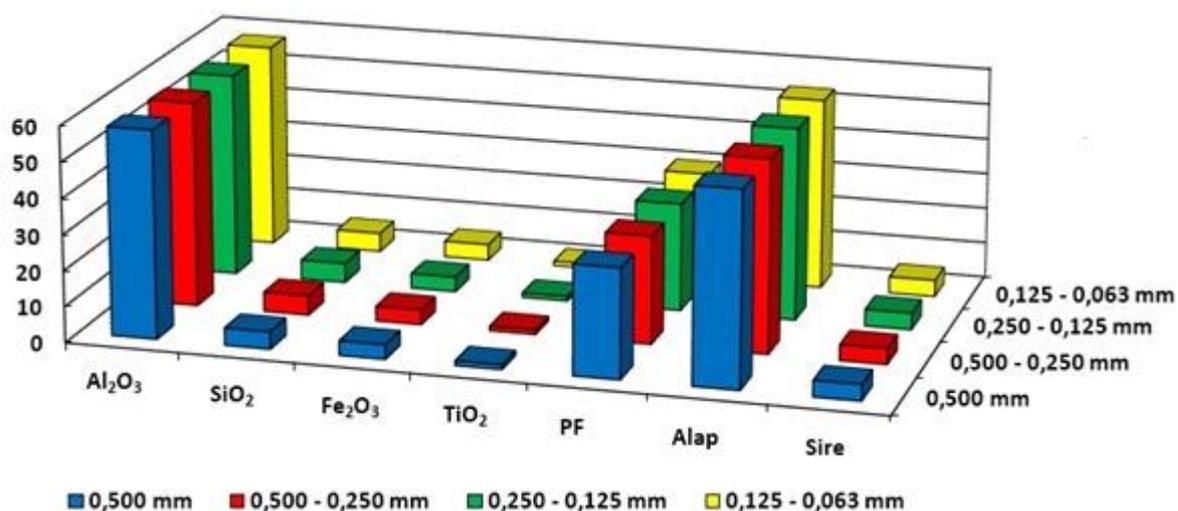


Figura 27- Comparação química entre as diferentes frações granulométricas (0,500, 0,500 – 0,250, 0,250 – 0,125, 0,125 – 0,063 mm) do HBNB do perfil 4 obtidas por peneiramento à úmido.

6.2 ELEMENTOS-TRAÇOS

As concentrações dos elementos-traço analisados mostram grandes variações ao longo dos perfis estudados, mas não entre perfis. Quando comparados com os valores da média crustal

(Rudnick & Gao 2003) as concentrações de V, Cr, Ga, Se, Zr, Nb, Mo, Sn, Hf, Ta, W, Hg, Bi, Th e U estão acima desta, principalmente nas frações < 0,500 mm e na matriz argilosa presentes em todos os horizontes. Por outro lado elementos como Sc, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Ag, In, Cs e Ba encontram-se em concentrações abaixo da média crustal, enquanto as concentrações de As, Y, Sb e Pb oscilam entre os valores acima ou abaixo desta média. As concentrações de As acima da média crustal estão nos fragmentos > 0,500 e ~0,500 mm dos HBNB, HBNI e HBNT e abaixo nos fragmentos > 0,500 mm dos HBX, HBNB e HBNT, nos fragmentos < 0,500 mm e na matriz argilosa dos HBNB, HBNI, HBNT e CAR, que são mais ricos em Fe₂O₃. Os valores mais elevados de Sn=263 ppm e W= 68 ppm foram observados nos fragmentos > 0,500 mm do HBNT do perfil 1 da mina Bela Cruz.

As curvas normalizadas à média crustal mostram uma tendência de similaridade entre si, mas que divergem acentuadamente nos elementos V, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Sb, W, Hg e Pb (Figura 28). Isto demonstra o contraste entre os nódulos e respectiva matriz, e também a CAR, e ainda em parte entre o tamanho dos fragmentos de nódulos.

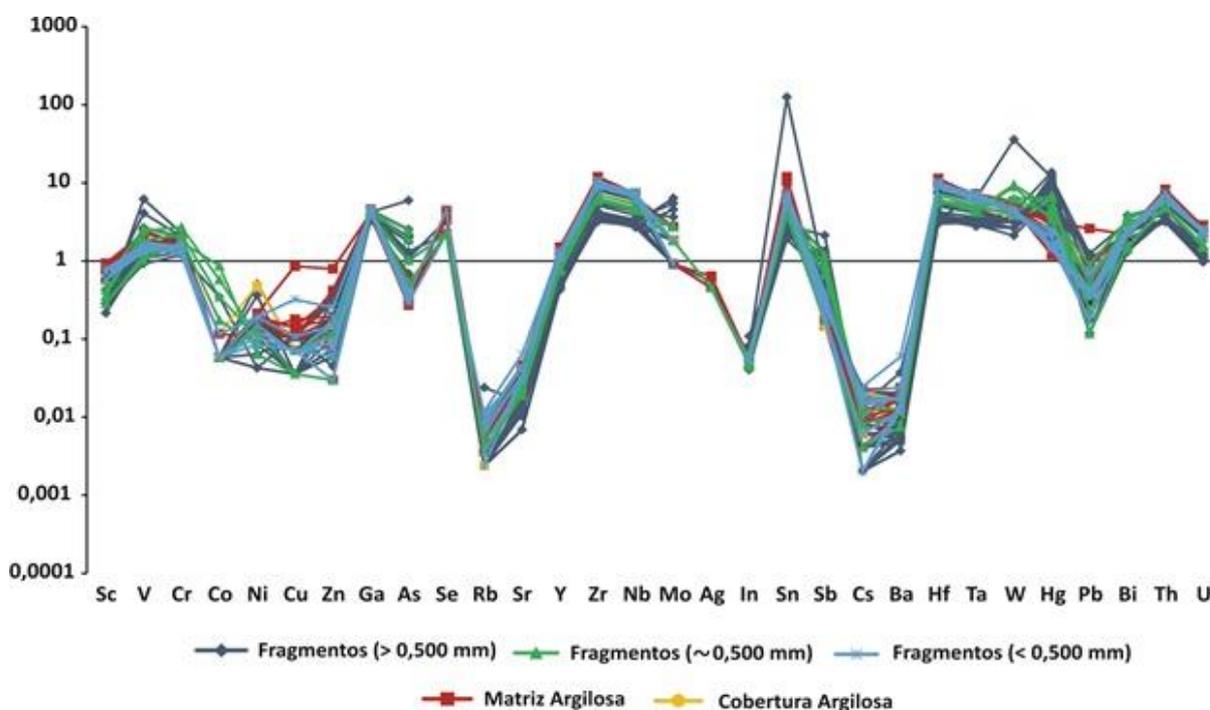


Figura 28- Distribuição das concentrações dos elementos-traço normalizados pela média da crosta superior da Terra (Rudnick & Gao 2003).

A mais elevadas concentrações de V, Cr, Ga, Mo, Hg e Bi são encontradas principalmente nos fragmentos > 0,500 e ~0,500 mm dos HBNB, HBNI e HBNT, especificamente nos materiais mais ricos Fe₂O₃ como hematita. As fortes correlações positivas entre Fe₂O₃ e esses elementos corroboram essa afirmação (Figura 29), e a afinidade deles ao Fe

já foi constatada em perfis lateríticos (Horbe e & Costa 1999, Kotschoubey *et al.* 2005, Braun *et al.* 2012, Costa *et al.* 2014, Pantoja 2015, Santos *et al.* 2016).

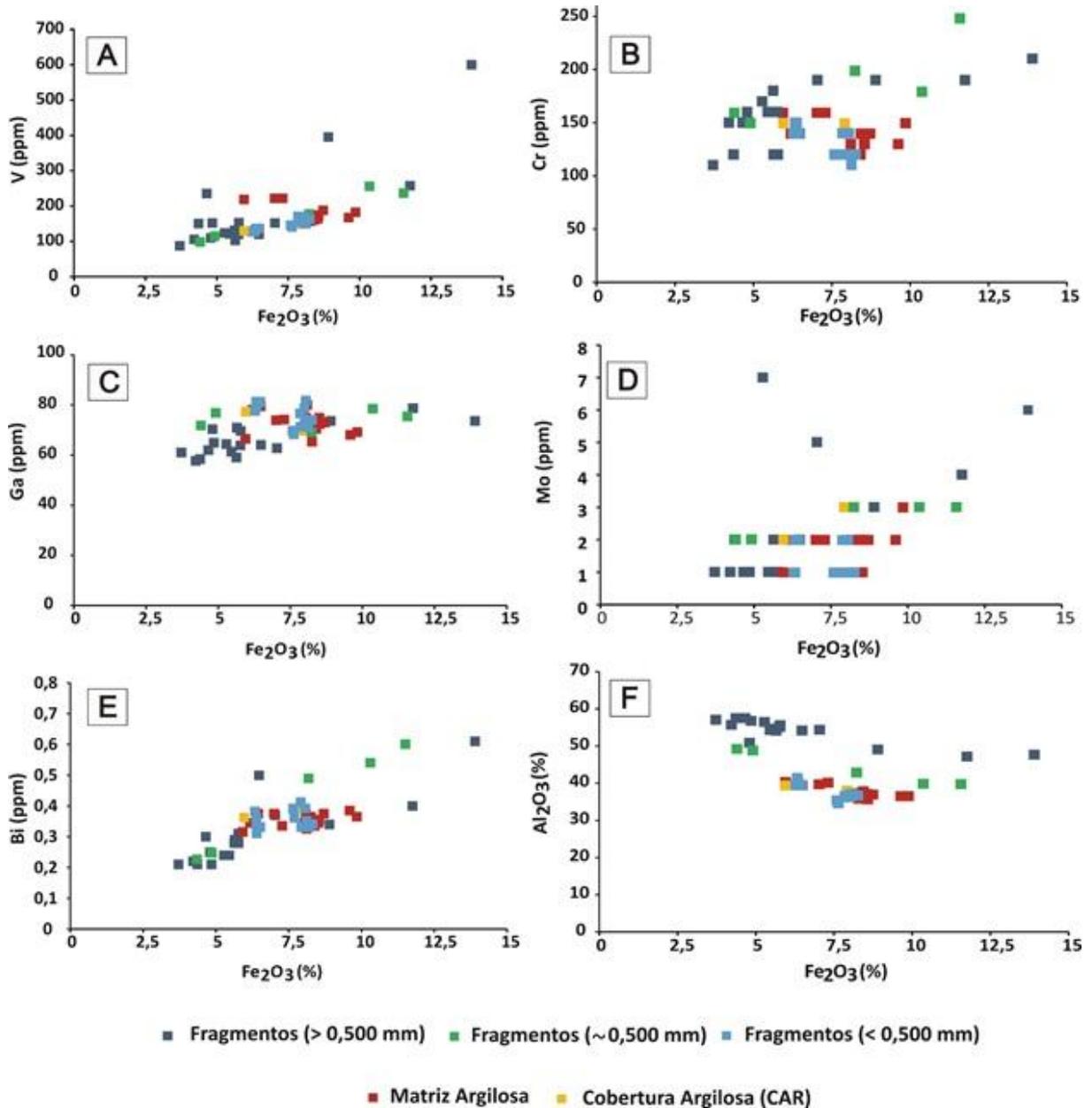


Figura 29- Diagramas de dispersão mostrando a correlação positiva entre Fe_2O_3 com alguns elementos-traço e correção com Al_2O_3 . (A) $\text{Fe}_2\text{O}_3 \times \text{V}$; (B) $\text{Fe}_2\text{O}_3 \times \text{Cr}$; (C) $\text{Fe}_2\text{O}_3 \times \text{Ga}$; (D) $\text{Fe}_2\text{O}_3 \times \text{Mo}$; (E) $\text{Fe}_2\text{O}_3 \times \text{Bi}$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 \times \text{Al}_2\text{O}_3$.

Por outro lado, Nb, Sn, Hf, Ta, Th, U, Zr e ETR se concentram relativamente nos fragmentos < 0,500 mm, na matriz argilosa dos HBNB, HBNI e HBNT e CAR. Geralmente, suas concentrações tendem a aumentar paralelamente as de TiO_2 . São elementos traços típicos de minerais ultraestáveis como zircão e do neoforado no perfil o anatásio, os quais tendem a se acumular nas frações mais finas (Horbe & Costa 1999, Kotschoubey *et al.* 2005, Costa *et al.*

2014, Pantoja 2015, Santos *et al.* 2016). Essa conclusão é favorecida pela forte correlação positiva correlação positiva entre Zr e esses da mesma forma que com TiO₂. Portanto, o zircão é o principal carreador desses elementos ao longo do perfil (Figura 30) e na CAR, e em parte o anatásio, em particular para Ta, Nb, Y e (ETR) (Figura 31).

A correlação linear positiva muito significativa entre Zr x Hf nos fragmentos e matriz argilosa dos HBNB, HBNI e HBNT e CAR na (figura 30C) com razão de 35,8 a 41,3, em média 38,3 (Tabela 01) sugere que o zircão seja de uma procedência comum em seu domínio principal (Kotschoubey *et al.* 2005, Barros *et al.* 2005, Liu *et al.* 2010, Costa *et al.* 2014, Santos *et al.* 2016). As razões Nb/Ta que variam de 6,80 a 15,40, com média de 13,35 (Tabela 01), é também comum em zircões (Barros *et al.* 2005).

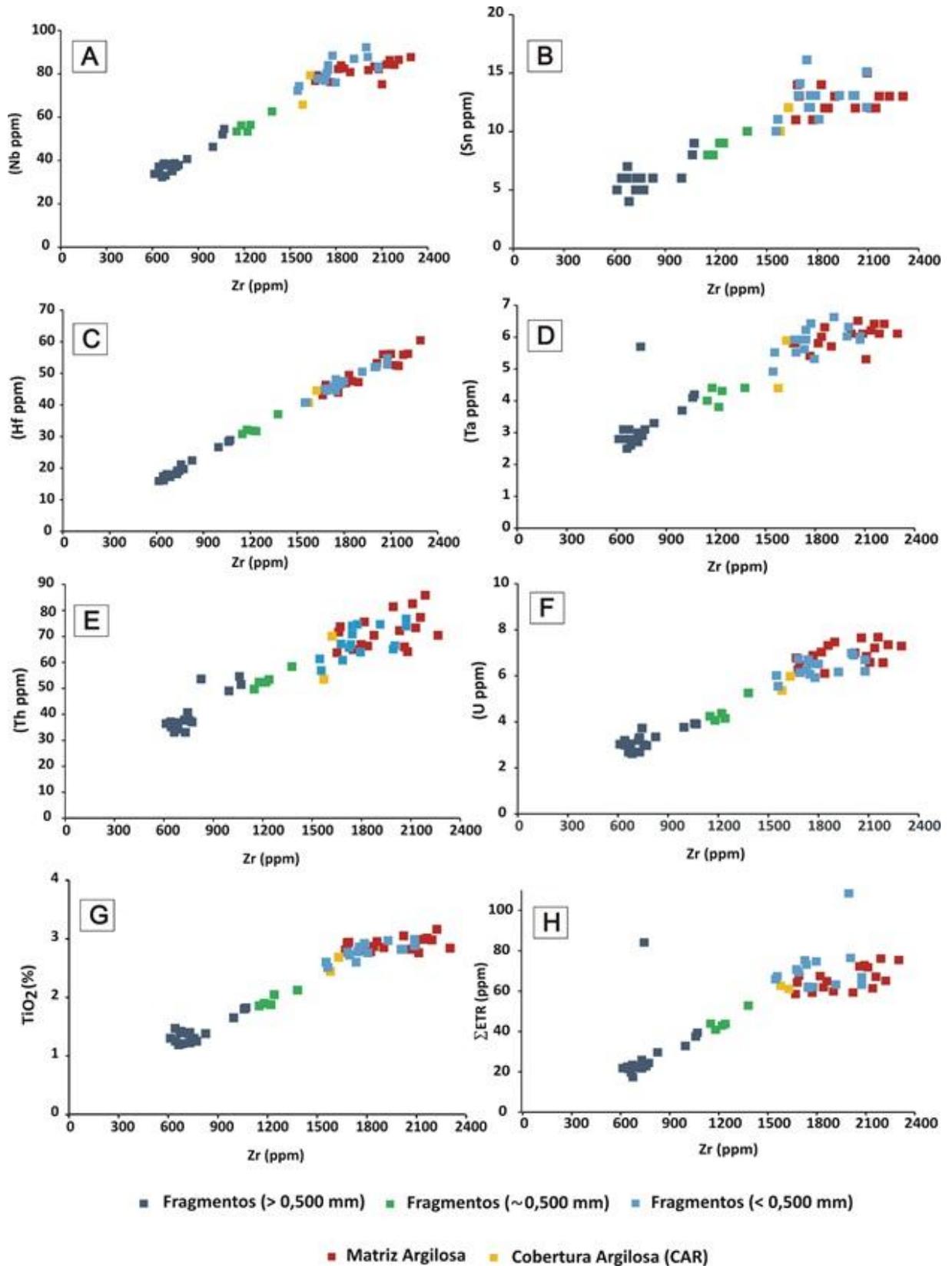


Figura 30- Diagramas de dispersão mostrando a correlação positiva entre Zr e alguns elementos-traço e TiO_2 . (A) Zr x Nb; (B) Nb x Sn; (C) Nb x Hf; (D) Zr x Ta; (E) Zr x Th; (F) Zr x U; (G) Zr x TiO_2 ; (H) Zr x ΣETR .

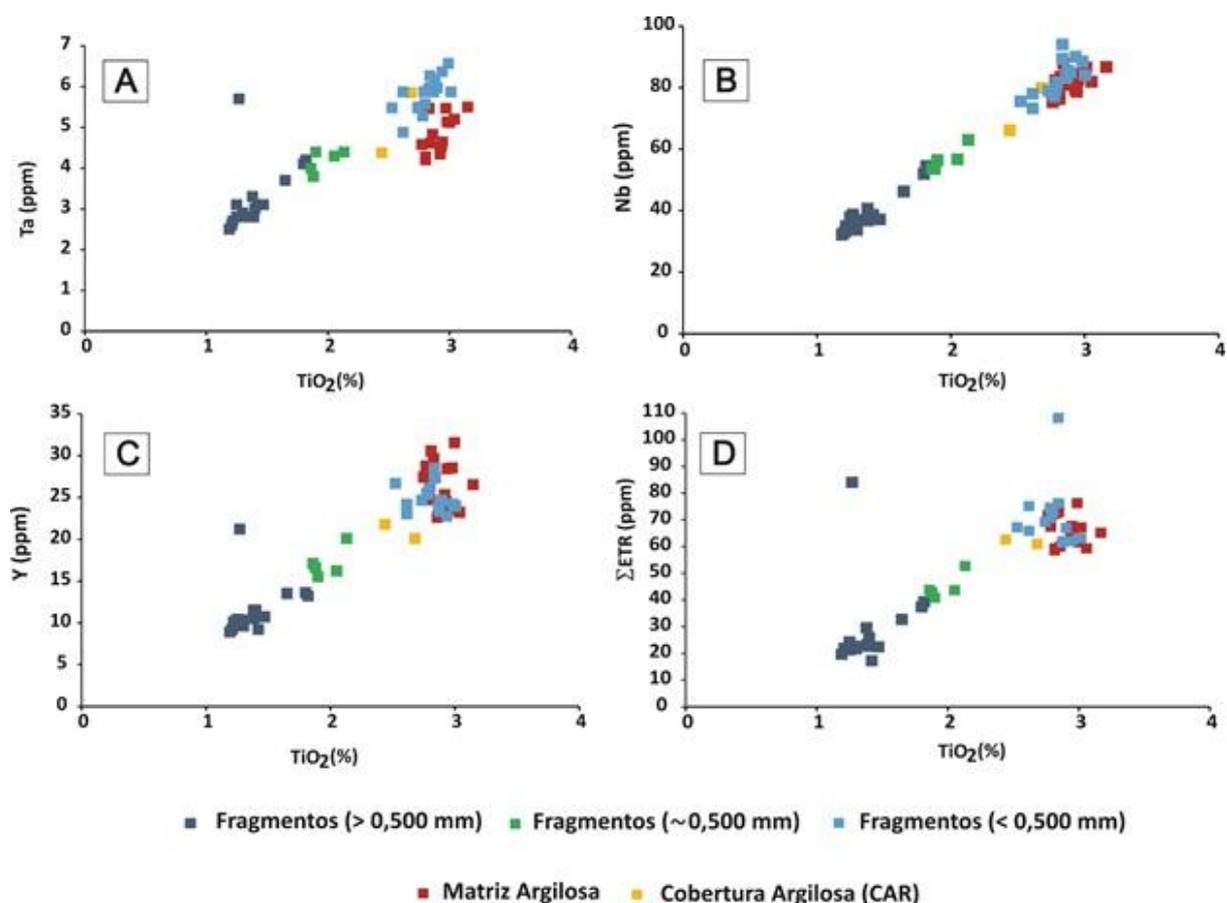


Figura 31- Diagramas de dispersão mostrando a correlação positiva entre TiO_2 com alguns elementos-traço (A) $TiO_2 \times Ta$; (B) $TiO_2 \times Nb$; (C) $TiO_2 \times Y$; (D) $TiO_2 \times \sum ETR$.

A imobilidade dos elementos-traço ao longo dos perfis está vinculada provavelmente aos oxihidróxidos de ferro bem como aos minerais resistatos, como zircão ou neoformados e estáveis, como anatásio (Costa *et al.* 2014, Santos *et al.* 2016). Isto é evidenciado pelos diagramas de dispersão (Figuras 29, 30 e 31) e pelas análises estatística de agrupamento, estas demonstram que existem dois grupos principais de elementos com forte afinidade geoquímica. O grupo I é formado por Se, Mo, Cr, Cr_2O_3 , Sb, As, In, V, Bi e Fe_2O_3 . Este grupo mostra forte afinidade com oxihidróxidos de ferro. O grupo II é formado por Ba, Eu, Sr, Ta, Sc, La, Sm, Pr, Nd, Ce, Th, Gd, Tb, Zr, Hf, Tm, U, Yb, Lu, Ho, Y, Er, Dy, Nd, TiO_2 e SiO_2 . Este grupo mostra forte afinidade com o zircão e com o anatásio (Figura 32). Além disso, a matriz de correlação (Apêndice A) também evidencia a forte afinidade entre esses elementos.

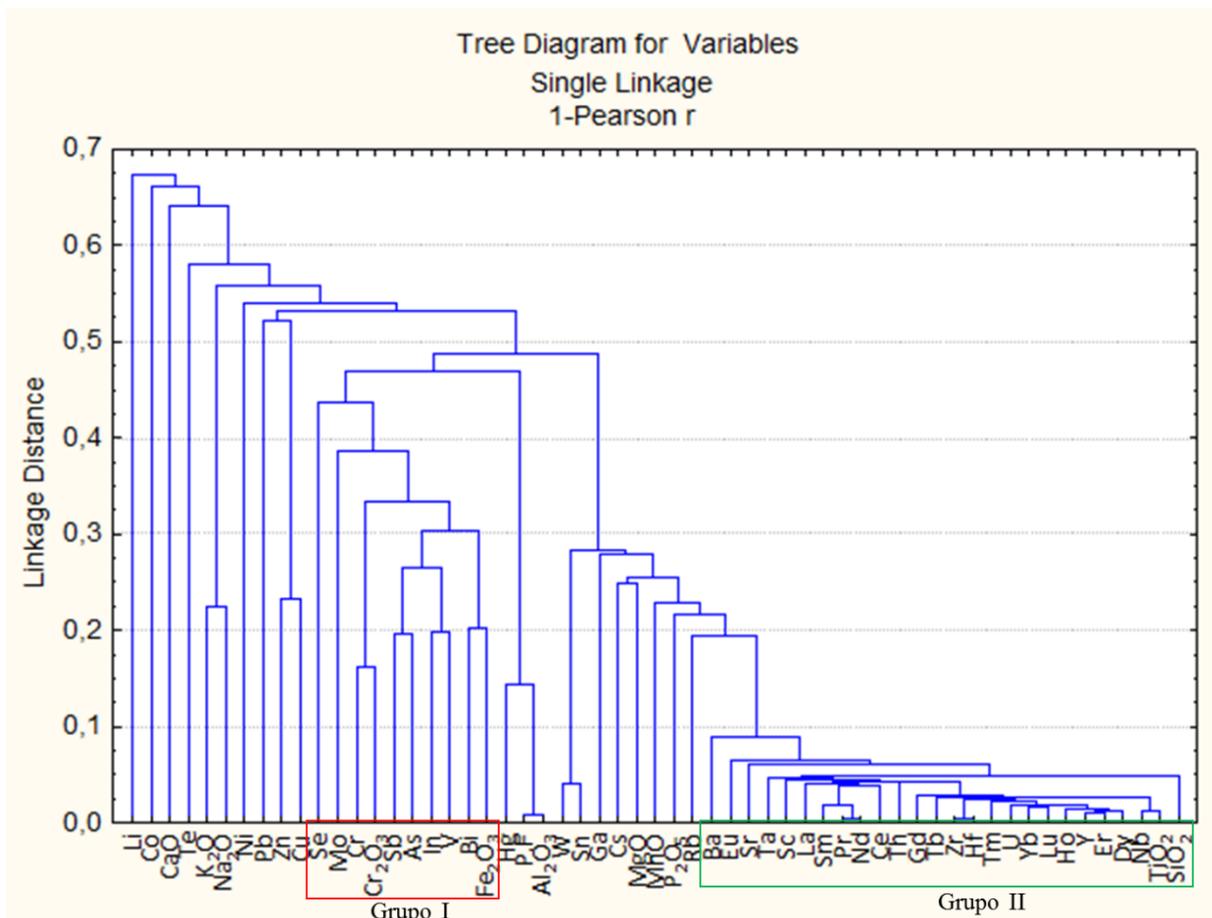


Figura 32- Análise de agrupamento dos dados dos elementos químicos dos perfis das minas Bela Cruz e Monte Branco.

6.3 ELEMENTOS TERRAS RARAS

As concentrações dos elementos terras raras (ETR) estão abaixo da média crustal em todas amostras estudadas (Tabela 01). As concentrações mais elevadas estão tipicamente na matriz argilosa dos HBX e HBNB, HBNI, HBNT, nos fragmentos < 0,500 mm dos HBNB, HBNI e HBNT e na CAR, como já antecipado no tópicos dos outros elementos traços, da mesma forma Nb, Sn, Hf, Ta, Th e U. Destaca-se o fragmento < 0,500 mm do HBNB do perfil 4 pelos teores mais elevados em ETR (107,93 ppm), enquanto que o fragmento > 0,500 mm do HBX do perfil 6 pelos teores mais baixos (17,27 ppm). Quando normalizados em relação aos condritos, as curvas exibem padrão de distribuição semelhantes entre si, com empobrecimentos dos ETRL e ligeiro enriquecimentos dos ETRP (Figura 33), com anomalia negativa de Eu, que varia de 0,25 a 0,79. Essas curvas normalizadas também permitem visualizar claramente o fracionamento dos ETR segundo os materiais fragmentos > 500 mm, fragmentos ~500 mm, fragmentos < 500 mm, matrizes e CAR, com valores crescentes neste sentido. Como

mencionado a forte correlação positiva entre $Zr \times \sum ETR$ (figura 30H) sugere que os ETR estejam principalmente em sua estrutura, sendo ainda melhor reforçado pelos padrões de distribuição que se harmonizam com aquelas encontradas nos zircões em geral (Kotschoubey *et al.* 2005, Costa *et al.* 2014, Pantoja 2015, Santos *et al.* 2016).

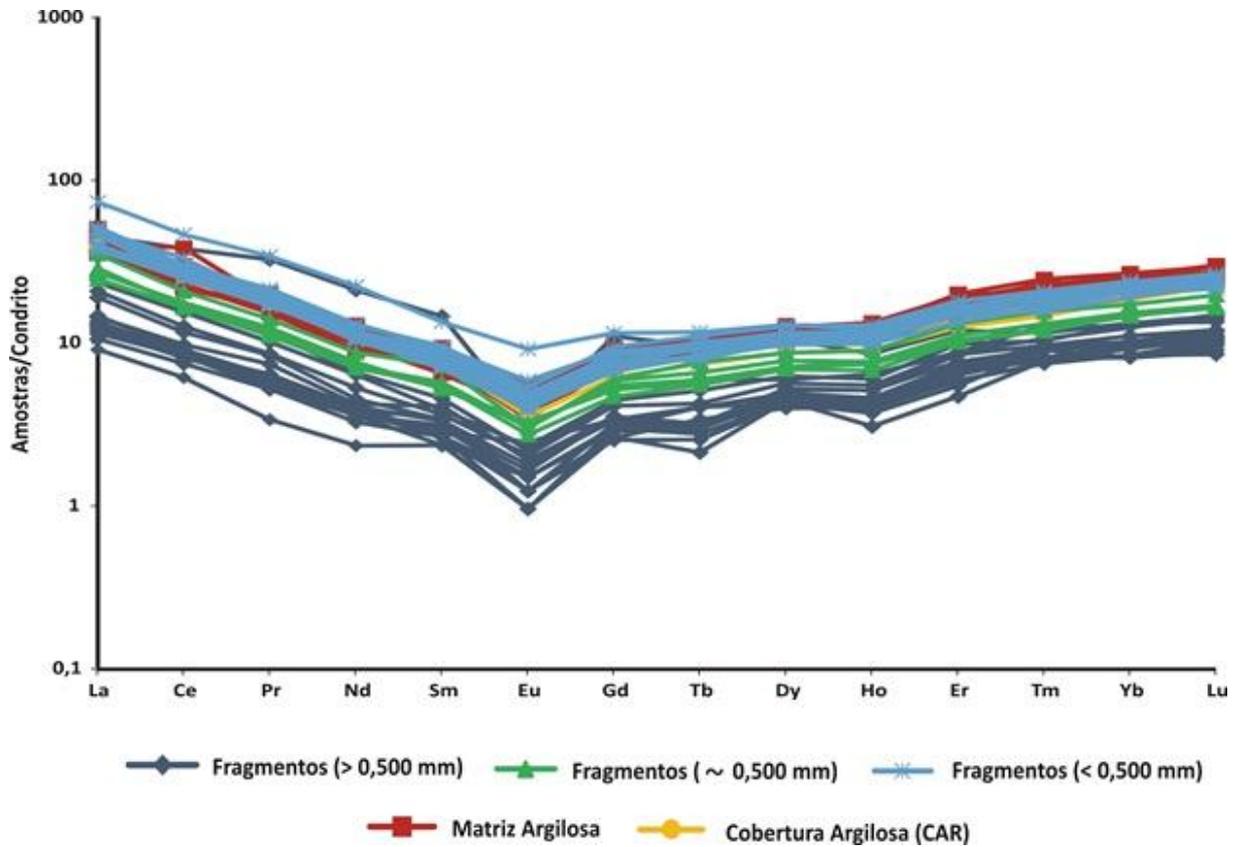


Figura 33- Padrão de distribuição dos ETR normalizados em relação aos condritos de Wedepohl (1995) nas amostras dos HBX, HBNB, HBNI, HBNT, matriz argilosa e CAR dos perfis investigados.

7 MINERAIS PESADOS

Foram identificados os mesmos minerais nos HBX, HBNB, HBNI, HBNT e CAR: zircão, rutilo e turmalina (Figura 34) nas frações areia fina a muito fina. São minerais tipicamente ultraestáveis, resistentes, e portanto herdados da rocha-mãe. O zircão é o mais abundante entre os pesados em todos os horizontes, seguido por rutilo, e então a turmalina.

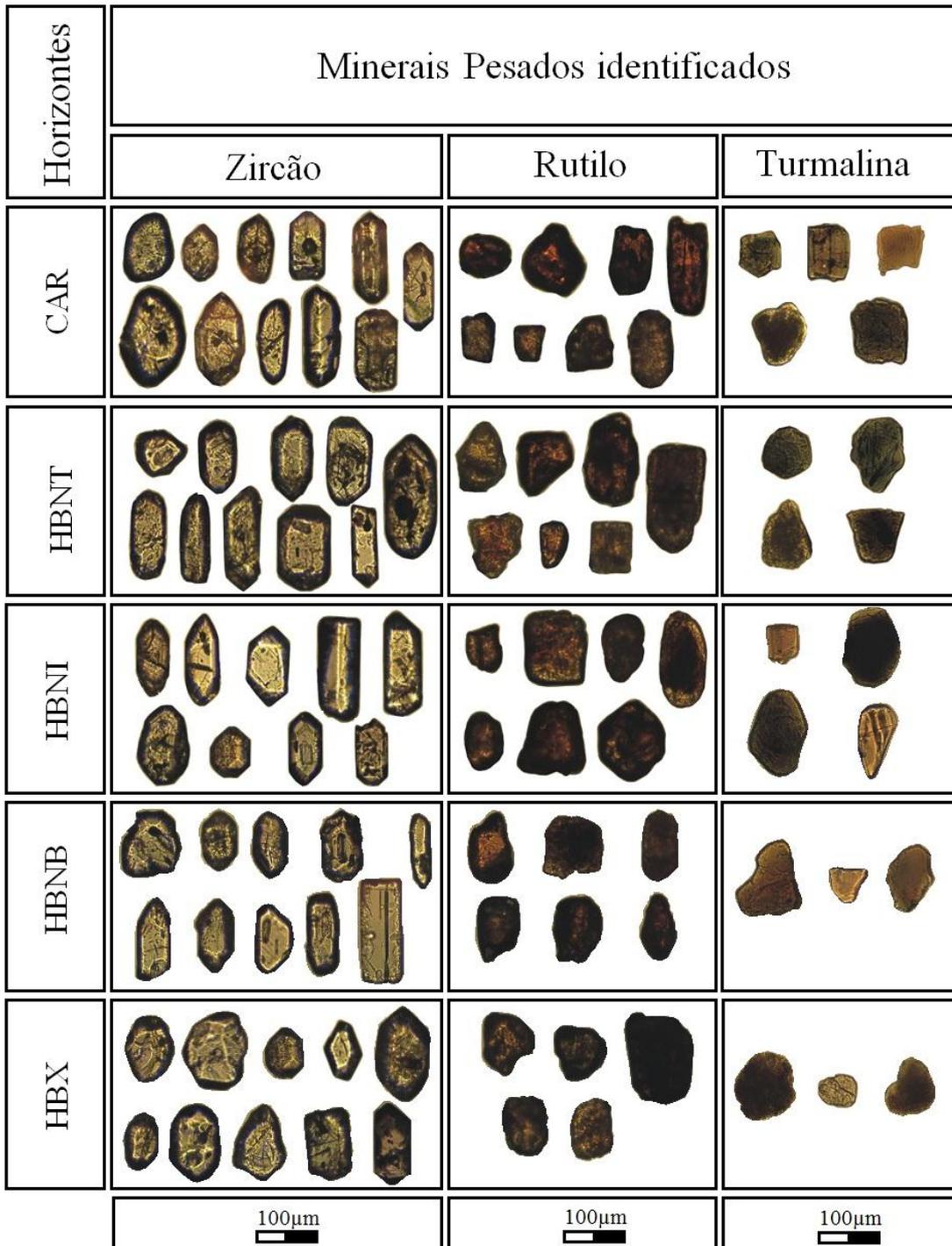


Figura 34- Imagens das diferentes morfologias de grãos e cristais de zircão, rutilo e turmalina identificadas nos HBX, HBNB, HBNI, HBNT e na CAR. Imagens obtidas com microscópio ótico em luz natural.

É na matriz argilosa dos HBX, HBNB, HBNI, HBNT e na CAR que o zircão se concentra preferencialmente (91% no HBX, 89% no HBNB, 86% no HBNI, 84% no HBNT e 82% na CAR), praticamente em valores constantes ou ligeiramente decrescentes para o topo do perfil. O rutilo tende a aumentar em direção aos materiais de topo do perfil (8% no HBX, 10% no HBNB, 12% no HBNI, 14% HBNT e 15% na CAR). A turmalina se apresenta a menor concentração em todos os horizontes, com tendência de aumento para o topo (1% no HBX, 1% no HBNB, 2% no HBNI, 2% no HBNT e 3% na CAR) (Figura 35).

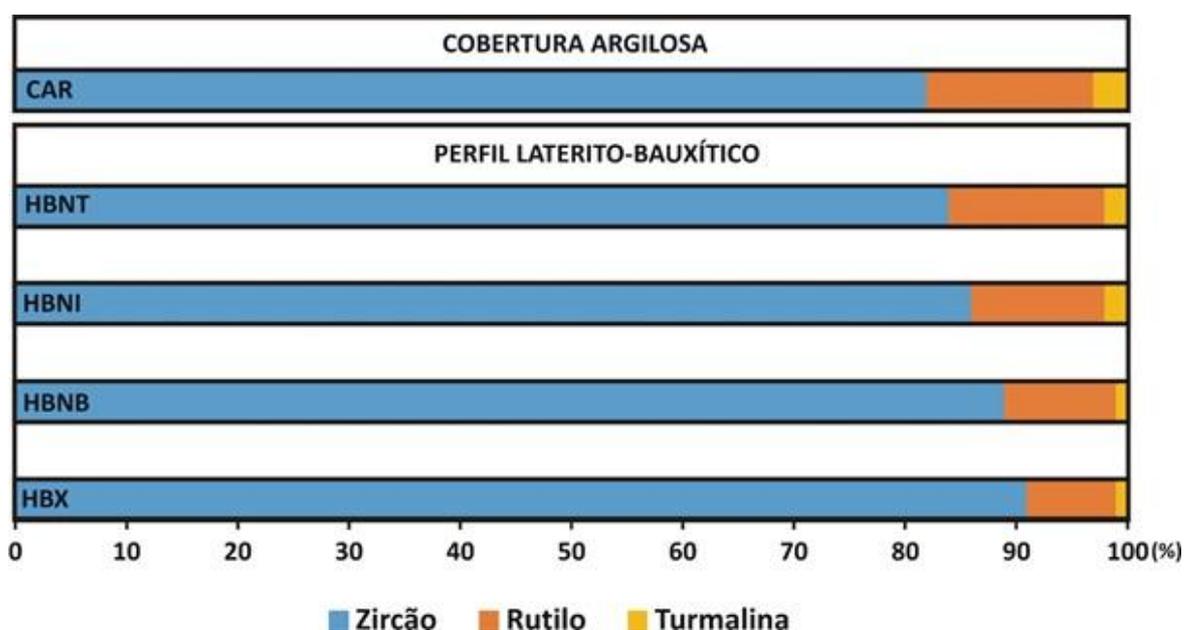


Figura 35- Distribuição composicional comparativa dos minerais pesados não opacos do perfil laterito-bauxítico e sua cobertura.

Os zircões encontrados são comumente incolores, porém alguns são castanhos e amarelos. E quanto a sua morfologia foi possível identificar dois grupos distintos: o primeiro formado por grãos subarredondados a arredondados e o segundo grupo por cristais prismáticos, euédricos a subédricos e, às vezes, bipiramidais, mas em geral as arestas já estão arredondadas. Nos cristais é possível observar, sob o microscópio ótico, inclusões de minerais opacos, e não opacos em formas de agulha; inclusões líquidas como bolhas foram observadas.

A análise morfológica desses cristais com base em Pupin (1980) possibilitou a identificação dos tipos P, S e D nas amostras dos HBX, HBNB, HBNI, HBNT e da CAR (Figura 36). Os tipos P e S são os mais abundantes. O tipo P é indicativo de granitos com fontes de magmas alcalinos, enquanto o tipo S ocorre em granitos com fonte de magmas cálcico-alcalinos. O tipo D, menos comum, é típico também de granitos com fontes de magmas alcalinos segundo Pupin (1980).

Os tipos S19 e P5, em geral, são os mais abundantes entre os horizontes. A variedade S19 é frequente nos HBX e HBNB e HBNI e corresponde a zircões cristalizados a 800°C. A variedade P5 ocorre nos HBNB, HBNI e CAR e equivale a zircões cristalizados a 850°C. Em seguida estão os tipos S7 e D. A variedade S7 ocorre nos HBNT e CAR e corresponde a zircões cristalizados a 700°C. A variedade D é frequente nos HBNI e HBNT e representa a zircões cristalizados a 900°C. Os tipos P1 e P4 ocorrem no HBX. A variedade P1 corresponde a zircões cristalizados a 650°C, enquanto a P4 equivale a zircões cristalizados a 800°C. O tipo S23 ocorre no HBNB e equivale a zircões cristalizados a 850°C. O tipo S14 ocorre no HBNT e representa zircões cristalizados a 750°C. O tipo P3 ocorre na CAR, e assim como S14, corresponde a zircões cristalizados a temperatura de 750°C (Figura 36). A classificação das temperaturas de cristalização em relação as diferentes formas destes cristais é baseado também em Pupin (1980). Portanto é possível a partir da morfologia dos cristais de zircão sugerir que esses minerais contidos nas rochas sedimentares que deram origem aos perfis lateríticos estudados são provenientes de rochas graníticas de magmas alcalinos a cálcio-alcalinos cristalizados a temperatura entre 650°C e 900°C, provavelmente de uma fonte comum predominante, o que está em conformidade com os dados obtidos através dos elementos traços.

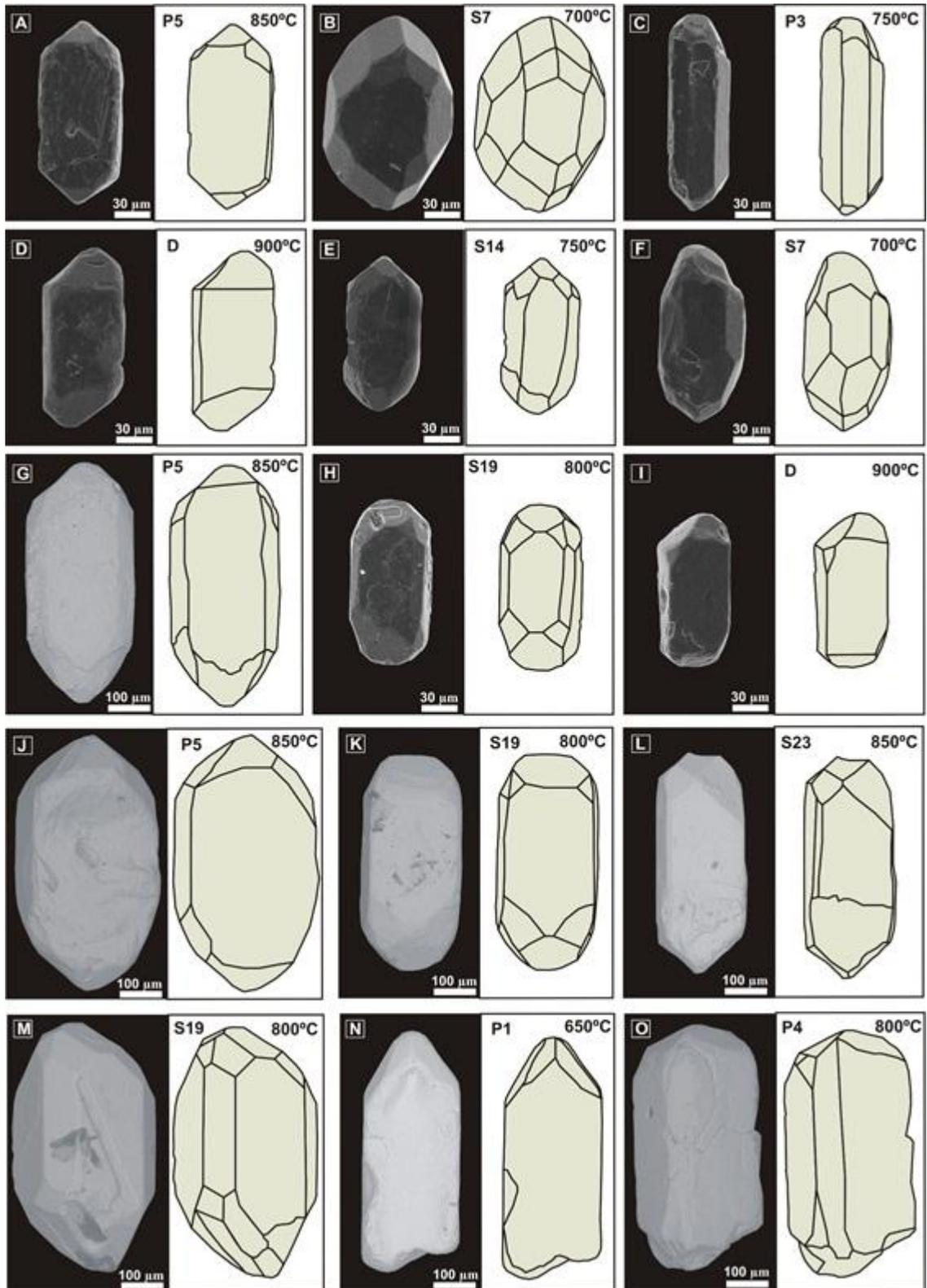


Figura 36- Imagens de MEV das principais formas dos tipos zircões e respectivas possíveis morfologias de acordo com a classificação de Pupin (1980). (A, B e C) zircões da CAR; (D, E e F) zircões do HBNT; (G, H e I) zircões do HBNI; (J, K e L) zircões do HBNB; (M, N e O) zircões do HBX.

Os grãos de rutilo se apresentam avermelhados a amarronzados, sob forma prismática subédrica, ou ainda simplesmente em grãos subarredondados a arredondados e formas irregulares. Os grãos podem exibir feições superficiais como fraturas conchoidais e marcas de abrasão (Figura 37).

A turmalina geralmente ocorre como grãos subarredondados a arredondados, grãos preservando a forma prismática subédrica são raros, da mesma forma fragmentos irregulares. As cores variam de verde, mais frequente, a marrom.

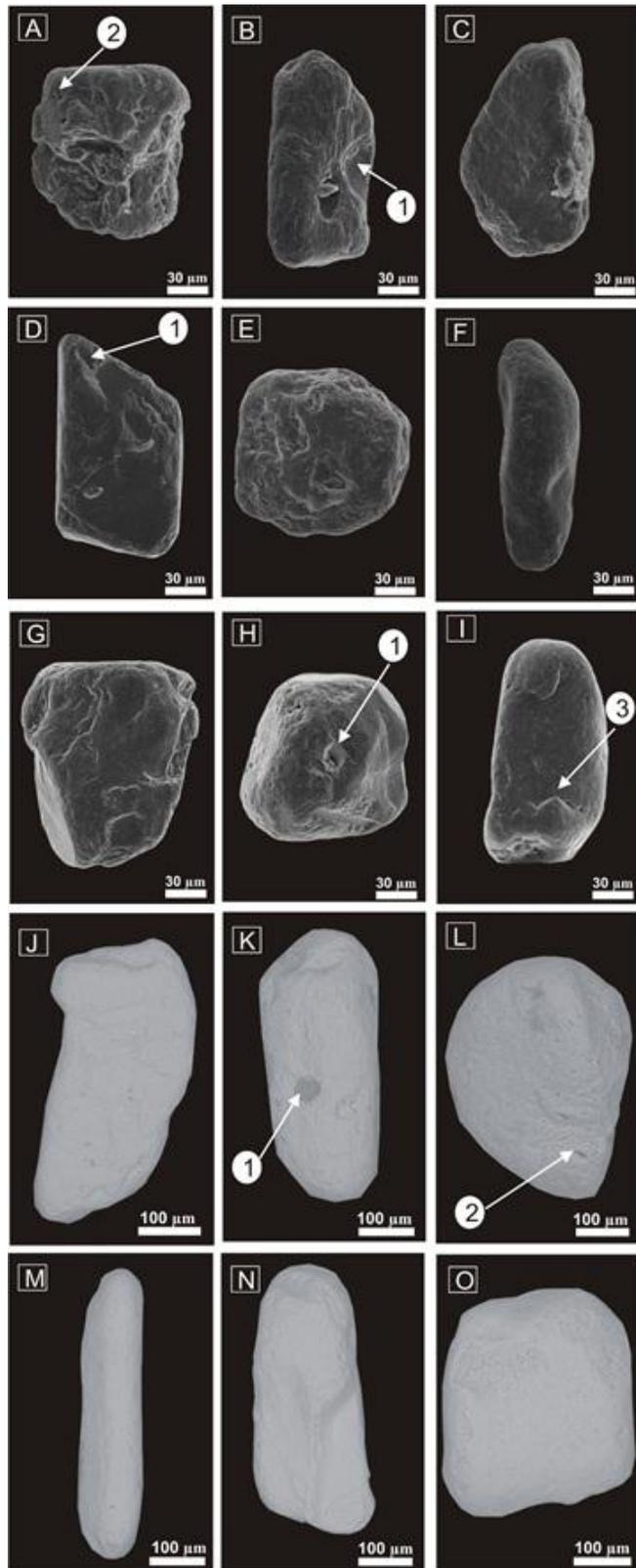


Figura 37- Imagens de MEV das principais morfologias de rutilo. (A, B e C) rutilos da cobertura argilosa (CAR); (D, E e F) rutilos do HBNT; (G, H e I) rutilos do HBNI; (J, K e L) rutilos do HBNB; (M, N e O) rutilo do HBX. (1) Fraturas conchoidais; (2) Cavidades; (3) Fraturas.

8 CONCLUSÕES

O potencial da bauxita nodular como possível minério de alumínio nos HBNB, HBNI e HBNT dos perfis investigados das minas Bela Cruz e Monte Branco encontra-se nos fragmentos $> 0,500$ mm e $\sim 0,500$ mm que são constituídos essencialmente por gibbsita, com caulinita, hematita e anatásio subordinados, equivalente à composição mineralógica assim como a química do HBX. Diferente dos fragmentos $< 0,500$ mm que são dominados por caulinita, com gibbsita, hematita, quartzo e anatásio subordinados. Essa composição mineralógica, bem como a química é bem semelhante à das matrizes e da CAR. A predominância da caulinita e, conseqüentemente os teores maiores de SiO_2 nos fragmentos $< 0,500$ mm, dificulta considerá-los como possível minério de alumínio porque a caulinita é o mineral responsável pela sílica reativa no processo Bayer.

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 enriquecimento dos elementos terras raras pesados (ETRP) diante dos elementos terras raras leves (ETRL).

Os minerais pesados encontrados nos HBX, HBNB, HBNI, HBNT e CAR são representados por zircão, rutilo e turmalina, sendo zircão o mais abundante em todos os horizontes.

Os dados obtidos nos perfis investigados das minas Bela Cruz e Monte Branco demonstram uma 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.

REFERÊNCIAS

- Aleva G.J.J. 1981. Essential differences between the bauxitic deposit along the southern and northern edges of the Guiana Shield, South America. *Econ. Geol.* **76** (5): 1142-1152.
- Bardossy G. 1982. *Karst bauxite*. Amsterdam, Elsevier, 441p.
- Barros A. E., Nardi L.V.S., Dillenburg S.R. 2005. Geoquímica de minerais detríticos em estudos de proveniência: uma revisão. *Revista Pesquisas em Geociências*, **32** (1): 3-15.
- Boulangé B. & Carvalho A. 1997. The bauxite of Porto Trombetas. In: Carvalho A., Boulangé B., Melfi A.J., Lucas Y. (Eds). *Brazilian bauxites*. São Paulo, Universidade de São Paulo. p. 55-73.
- Braun J.J., Marechal J.C., Riotte J., Boeglin J. L., Bedimo J.P., Ndam Ngoupayou J.R., Nyeck B., Robain H., Sekhar M., Audry S., Viers J. 2012. Elemental weathering fluxes and saprolite production rate in a Central African laterite terrain (Nsimi, South Cameroon). *Geochimica et Cosmochimica Acta* **99**: 243-270.
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). 2008. *Mapa geológico do estado do Pará. Escala 1:1. 000.000*. Disponível em <<http://geobank.cprm.gov.br/>>. Acesso em 10 de abr. 2016.
- Costa M.L. 1991. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. *Revista Brasileira de Geociências*, **21** (2): 146-160.
- Costa M.L., Cruz G.S., Almeida H.D.F., Poellmann H. 2014. On the geology, mineralogy and geochemistry of the bauxite-bearing regolith in the lower Amazon basin: Evidence of genetic relationship. *Journal of Geochemical Exploration*, **146**: 58-74.
- Costa M. L. Alumínio e bauxita no Brasil. 2016. In: Melfi A.J., Misi A., Campos D.A., Cordani U.G (Eds.). *Recursos minerais no Brasil problemas e desafios*. Rio de Janeiro, Academia Brasileira de Ciências, p. 166-173.
- Cunha P.R.C., Gonzaga F.G., Coutinho L.F.C., Feijó F. J., 1994. Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobrás*. **1** (8): 47-55.
- Dennen W.H. & Norton, H.A. 1977. Geology and geochemistry of bauxite deposits in the Lower Amazon basin. *Economic Geology*, **72**: 82-89.
- Greig W. 1977. *Trombetas and other Amazon Bauxites*. [S.l.], Society Mining Engineers AIME, 34p.
- Grubb P.L.C. 1979. Genesis of bauxite deposits in the lower Amazon basin and Guianas coastal plain. *Economic Geology*, **74**: 735-750.
- Hernalsteens C. M.O. 1982. Bauxita de Porto Trombetas. In: SBG, 32º Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador. *Anais*, **3**: 1100-1114.
- Hernalsteens C.M.O. & Lapa R.P. 1988. Bauxita de Porto Trombetas, Oriximiná, Pará. In: Schobbenhaus C., Coelho C.E.S. (Eds.). *Principais depósitos minerais brasileiros - metais básicos não ferrosos, ouro e alumínio*. [S.l.], DNPM, **3**: 622-639.

Horbe A.M.C. & Costa M.L. 1997. Solos gerados a partir do intemperismo de crostas lateríticas sílico-ferruginosas. *Acta Amazônica*, **27** (4): 241-256.

Horbe A.M.C. & Costa M.L. 1999. Relações genéticas entre latossolos e crostas lateríticas aluminosas e alumino-ferruginosas na região de Paragominas, Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **29**: 497-504.

Kotschoubey B. & Truckenbrodt W. 1981. Evolução poligenética das bauxitas do distrito de Paragominas – Açailândia (estados do Pará e Maranhão). *Revista Brasileira de Geociências*, **11**: 193-202.

Kotschoubey B. 1988. Geologia do Alumínio. In: BRASIL/MME-DNPM. *Principais Depósitos Minerais do Brasil*. Brasília, DNPM, **3**: 599-619.

Kotschoubey B., Calaf J. M. C., Lobato A. C. C., Leite, A. S., Azevedo C. H. D. 2005. Caracterização e Gênese dos depósitos de Bauxita da Província Bauxitífera de Paragominas, Nordeste da Bacia do Grajaú, Nordeste do Pará, Oeste do Maranhão. In: Marini O.J., Queiroz E. T., Ramos B.W. (Eds). *Caracterização dos depósitos minerais em distritos mineiros na Amazônia*. Brasília, CT-MINERAL/FINEP/ADIMB, p. 691-782.

Klammer G. 1971. Uber pilo-leistozäne Terrassen und ihre Sedimente im unteren Amazonasgebiet. *Geomorphology*, **15**: 62-106.

Krook L. 1979. *Sediment petrographical studies in Northern Suriname*. Amsterdam, the Netherlands, Academisch Proefschrift, Vrije Universiteit te Amsterdam, the Netherlands, 154p.

Liu X., Wang Q., Deng J., Zhang Q., Sun S., Meng J. 2010. Mineralogical and geochemical investigations of the Dajia Salento-type bauxite deposits, Western Guangxi, China. *Journal of Geochemical Exploration*, **105** (3): 137-152.

Lucas Y., Luizão F.J., Chauvel A., Rouiller J., Nahon D. 1993. The relation between biological activity of the rain forest and mineral composition of soils. *Science*, **260** (5107): 521-523.

Munsell Soil Color Charts. 1994. Revised Edition. New Windsor, New York, USA, GreatagMacbeth.

Pantoja H.M. 2015. *Mineralogia, geoquímica e minerais pesados do perfil laterito-bauxítico com cobertura e sua relação com Grupo Itapecuru: lavra piloto Ciríaco (Rondon do Pará)*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 73p.

Pupin N J.P. 1980. Zircon and granite petrology. *Contribution to Mineralogy and Petrology, Berlin /Heidelberg*, **73**: 207-220.

Rudnick R. L. & Gao S. 2003. Composition of the Continental Crust. *Treatise on Geochemistry*, **3**: 1-64.

Santos P.H.C., Costa M.L., Leite A.S., 2016. The Piriá aluminous lateritic profile: mineralogy, geochemistry and parent rock. *Brazilian Journal of Geology*, **46** (4): 617-636.

Sombroek W.G. 1966. *Amazon Soils: a reconnaissance of the soils of Brazilian Amazon region*. Netherlands, Wageningen: Center for Agriculture Publications and Documentation, 292p.

Sugden D. 1984. The Laterite Bauxite Deposits of the Trombetas and Paragominas regions of the Amazon Basin. Bauxite. *Bauxite Symposium*, Los Angeles, California. p. 370-386.

Truckenbrodt, W. & Kotschoubey, B. 1981. Argila de Belterra: Cobertura terciária das bauxitas amazônicas. *Revista Brasileira de Geociências*, 11(3): 591-610.

Truckenbrodt W., Kotschoubey B. Góes A. M. 1982. Considerações a respeito da idade das bauxitas na parte leste da região amazônica. *In: Simp. Geol. Amaz., Anais*. Belém, SBG, **1**: 201-209.

USGS (United States Geological Survey) 2018. Bauxite and Alumina statistic and information. Disponível em: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf>>. Acesso em 03 mai. 2018.

Wedepohl K.H. 1995. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **59** (7): 1217-1232.

Wolf F.A.M & Silva J.M.R. 1973. *Província Bauxitífera da Amazônia*. Belém, MME/DNPM – 5º Distrito. 35p.

Wolf F.A.M. 1992. *Bauxita da Amazônia*. Belém, MME/DNPM – 5º Distrito. 46p.

APÊNDICES

APÊNDICE A – MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE ELEMENTOS MAIORES E TRAÇO DAS AMOSTRAS DOS PERFIS INVESTIGADOS

(continua)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	PF	Ba	Ce	Cr	Cs	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Nb	Nd	Pr	Rb	Sm				
SiO ₂	1,00																																	
Al ₂ O ₃		1,00																																
Fe ₂ O ₃			1,00																															
CaO				1,00																														
MgO					1,00																													
Na ₂ O						1,00																												
K ₂ O							1,00																											
Cr ₂ O ₃								1,00																										
TiO ₂									1,00																									
MnO										1,00																								
P ₂ O ₅											1,00																							
PF												1,00																						
Ba													1,00																					
Ce														1,00																				
Cr															1,00																			
Cs																1,00																		
Dy																	1,00																	
Er																		1,00																
Eu																			1,00															
Ga																				1,00														
Gd																					1,00													
Hf																						1,00												
Ho																							1,00											
La																								1,00										
Lu																									1,00									
Nb																										1,00								
Nd																											1,00							
Pr																												1,00						
Rb																													1,00					
Sm																														1,00				
Sn																																		
Sr																																		
Ta																																		
Tb																																		
Th																																		
Tm																																		
U																																		
V																																		
W																																		
Y																																		
Yb																																		
Zr																																		
As																																		
Bi																																		
Hg																																		
In																																		
Re																																		
Sb																																		
Se																																		
Te																																		
Tl																																		
Co																																		
Cu																																		
Li																																		
Mo																																		
Ni																																		
Pb																																		
Sc																																		
Zn																																		

