



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**BAUXITA, HORIZONTE NODULAR E COBERTURA ARGILOSA DA REGIÃO DE
PARAGOMINAS E JURUTI, ESTADO DO PARÁ.**

Dissertação apresentada por:

GILBERTO DA SILVA CRUZ

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

BELÉM

2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

C957b Cruz, Gilberto da Silva

Bauxita, horizonte nodular e cobertura argilosa da região de Paragominas e Juruti, estado do Pará / Gilberto da Silva Cruz; Orientador: Marcondes Lima da Costa– 2011
xxi, 93 f.: il.

Dissertação (mestrado em geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2011.

1.Bauxita – Paragominas (PA). 2.Bauxita – Juruti (PA). 3.Nódulos. 4. Cobertura argilosa. I. Costa, Marcondes Lima da, *orient.* II.Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22° ed.:549.53098115



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
Programa de Pós-Graduação Em Geologia e Geoquímica

**BAUXITA, HORIZONTE NODULAR E COBERTURA
ARGILOSA DA REGIÃO DE PARAGOMINAS E JURUTI,
ESTADO DO PARÁ**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

GILBERTO DA SILVA C RUZ

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

Data de Aprovação: 20 / 12 / 2011

Banca Examinadora:

Prof. MARCONDES LIMA DA COSTA
(Orientador-UFPA)

Prof.ª SÔNIA MARIA BARROS DE OLIVEIRA
(Membro-USP)

Prof.ª ANGÉLICA F.D. CHICARINO VARAJÃO
(Membro-UFOP)

Aos meus pais José Araújo Cruz e Maria Rose Marie da Silva Cruz, noiva Ingrid da Rosa Borges, irmãs Gheysa da Silva Cruz e Giselle da Silva Cruz e tio Arnaldo Alexandre da Silva Cruz pelo apoio, carinho, incentivo e compreensão durante o meu mestrado.

AGRADECIMENTOS

Ao Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela concessão da bolsa que possibilitou esta dissertação de mestrado.

Ao Projeto INCT-GEOCIAM/CNPq pelo apoio financeiro durante a elaboração desta dissertação.

As empresas Vale e Alcoa pelo apoio logístico, material, humano e transporte durante a etapa de campo.

Ao Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa pelas valiosas orientações, críticas, incentivos, conselhos, apoio e paciência em todas as fases deste trabalho.

Aos amigos do grupo de Geoquímica e Mineralogia Aplicada em especial a Mônia, Flávia, Gláucia, Jucilene, Sérgio, Jucilene, Marles e Uibirá pelos incentivos, sugestões e ajuda neste trabalho.

À toda turma de geologia de 2004, sobretudo aos amigos de dia-a-dia Ana Tayla, Saney Cecílio, Lívio Corrêa, Williams Pinto, José Diogo, Manoel, Jorge Augusto e Luis Daniel pelos incentivos e amizades.

À secretária Cleida pelo profissionalismo, atenção, disponibilidade e comemoração durante esta etapa em minha vida de mestrando.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica pelas valiosas sugestões, conhecimentos e orientações em especial ao Prof. Dr. Rômulo Simões Angélica, Dr. Werner Truckenbrodt e Dra. Adriana Maria Coimbra Horbe.

Aos técnicos de laboratório Joelma, João Lopez, Natalino e Cristiane pela presteza no atendimento.

Por fim, não menos importante, a minha família em especial aos meus pais José Araújo Cruz e Maria Rose Marie da Silva Cruz, noiva Ingrid da Rosa Borges, irmãs Gheysa da Silva Cruz e Giselle da Silva Cruz e tio Arnaldo Alexandre da Silva Cruz pelo amor,

carinho, atenção, conselhos, apoio e compreensão que foi mim dado, bem como a família, alicerce da minha vida e responsável pelo meu caráter.

Sem sonhos, a vida não tem brilho. Sem metas, os sonhos não têm alicerce. Sem prioridades, os sonhos não se tornam reais. Sonhe, trace metas, estabeleça prioridades e corra riscos para executar seus sonhos. Melhor é errar tentando do que errar para se omitir! Não tenha medo dos tropeços da jornada. Não se esqueça de que você, ainda que incompleto, foi o maior aventureiro da história.

Augusto Cury

RESUMO

O clima tropical quente e úmido durante o Cenozóico proporcionou a formação principalmente de laterito-bauxíticos na Amazônia com ocorrência frequente de horizonte concrecionário ou nodulares constituídos ambos de bauxitas e/ou crostas ferro-aluminosas. A relação entre o horizonte concrecionário e/ou nodular com o perfil laterítico e a origem da cobertura argilosa na Amazônia foram os objetivos de estudo neste trabalho, assim foram estudados três perfis lateríticos, sendo dois perfis lateríticos localizados na região de Paragominas (platô Jabuti e PA-256 km 17) derivadas das rochas siliclásticas da Formação Ipixuna e/ou Grupo Itapecuru do Cretáceo Superior, e um perfil na mina de Juruti gerada a partir das rochas siliclásticas da Formação Ater do Chão, todos no estado do Pará. Neste estudo foram aplicadas as técnicas de difração de raios-X, microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura e sistema de energia dispersiva (MEV/SED), além de análises químicas. Os perfis lateríticos da região de Paragominas são constituídos da base para o topo: horizonte saprolítico com estruturas laminares composta essencialmente por caulinita além grãos de quartzo fraturados e corroídos; Horizonte mosqueado de coloração variegada composta por caulinita, hematita e goethita; Horizonte bauxítico de coloração lilás, aspecto maciço, poroso, e cortado por estruturas colunares de aspecto argiloso no platô Jabuti, enquanto na PA-256 o horizonte bauxítico é de coloração rosada, aspecto colunar e poroso; Crosta ferro-aluminosa porosa com núcleos digeridos ou não pela matriz aluminosa; Horizonte concrecionário, composto por uma matriz argilosa de composição caulinitica, formado na base por concreções ferruginosas subsféricas, poroso, zonado, com núcleo avermelhado e bordas goethíticas, enquanto no topo o mesmo para partículas de aspecto porcelanado que exibe um zoneamento difuso sublinhado na parte externa pela cor branca ou rosa, em seguida, uma cor amarela e um núcleo mais ferruginoso de cor vermelha que às vezes tem cor marrom; Cobertura argilosa formada essencialmente por uma matriz caulinitica com nódulos gibbsíticos, grãos de quartzo e fragmentos lateríticos disseminados. Os elementos traços mostram uma relação com os oxi-hidróxidos de ferro (Pb, V, As e Mo), anatásio (Nb, Ta, W, Sn e Sc), zircão (Zr, Hf, Y e U) e gibbsita (Ga), enquanto os elementos terras apresentam o mesmo comportamento ao longo do perfil que demonstra uma grande relação genética entre os horizontes do perfil. O perfil laterítico da mina de Juruti é constituído da base para o topo: Horizonte mosqueado de coloração variegada; Horizonte bauxítico de aspecto sacaroidal formada por grânulos de gibbsita e grãos de quartzo fraturados e corroídos e bauxita com plasma ferruginoso arredondado imerso em matriz aluminosa

gerando um aspecto brechóide; Crosta ferruginosa aspecto maciço, poroso com cavidades preenchidas por cutãs goethíticos e gibbíta, além da ocorrência de grãos de quartzo fraturados e corroídos; Horizonte nodular ferruginoso com nódulos de granulometria decrescente em direção ao topo, aspecto maciço, poroso com cavidades preenchidas por gibbítsita e cutãs goethíticos, grãos de quartzo, sendo imersos em matriz argilosa de composição caulínítica; Horizonte nodular bauxítico com nódulos de granulometria decrescente em direção ao topo, aspecto irregular, porosos com cavidades preenchidas por gibbítsita, já na porção do topo os nódulos são digerido pela matriz aluminosa; Cobertura argilosa de coloração amarelada com nódulos gibbítsicos. Já os elementos traços no perfil da mina de Juruti mostram concentrações mais baixa do que Paragominas e relação química com os oxi-hidróxidos de ferro (Pb, V, As, Cr e Mo), anatásio (Nb, Ta, W, Sn e Sc), zircão (Zr, Hf, Y e U) e gibbítsita (Ga), enquanto que os elementos terras raras ocorrem na forma em V quando normalizados com os condritos pelo enriquecimento dos elementos terras raras leves (La e Ce) como dos elementos terras raras pesados (Yb e Lu) e depressão acentuada no intervalo de Nd, Sm, Eu e Gd, além do paralelismo das curvas de distribuição que demonstra a mesma relação genética entre os perfis como em Paragominas. A evolução dos perfis lateríticos das duas regiões são caracterizados pelas seguintes fases: 1 – formação da crosta a partir das rochas da Formação Alter do Chão para mina de Juruti, enquanto em Paragominas derivada da Formação Ipixuna e/ou Grupo Itapecuru; 2 – bauxitização da crosta; 3 – degradação e dismantelamento parcial da crosta e, possivelmente, seguida de erosão e deposição para partes mais rebaixadas no caso da PA-256; 4 – bauxitização dos nódulos e/ou concreções e, por fim, 5 – formação da cobertura argilosa, denominada Argila de Belterra. As características mineralógicas e químicas dos perfis estudados permitem indicar que estes perfis são formados a partir de uma evolução *in situ* para o horizonte concrecionário e/ou nodular e a cobertura argilosa em relação às crostas lateríticas. As variações climáticas e periódicas ativações tectônicas são as principais responsáveis por esta evolução.

Palavras-chave: Bauxita-Paragominas (PA). Bauxita-Juruti (PA). Nódulos. Cobertura Argilosa.

ABSTRACT

The hot and tropical climate during the Cenozoic resulted in the formation mainly laterite-bauxite in the Amazon with the frequent occurrence of nodular and/or concretionary horizon consisting of both bauxite and/or ferro-aluminous crusts. The relationship between the nodular and/or concretionary horizon with lateritic profile and origin of the clay cover in the Amazon were the objectives of the present study, so did the selection of two lateritic profiles, located in the region of Paragominas (plateau Jabuti and PA-256 km 17) derived from rocks siliciclastics Ipixuna Formation and/or Itapecuru Group the late Cretaceous, and Juruti generated from the rocks siliciclastics of the Alter do Chão Formation, all in the state of Pará. This study applied the techniques of X-ray diffraction, optical microscopy, scanning electron microscopy and energy dispersive system (SEM/EDS), addition to chemical analysis. The lateritic profiles in the region Paragominas consist from bottom to top: Saprolitic horizon with laminar structures composed mainly of kaolinite beyond quartz grains fractured and corroded; Horizon mottled variegated coloration composed of kaolinite, goethite and hematite; bauxite lilac, look massive, porous, and cut by structures of clay columnar aspect in the plateau Jabuti, while in the PA-256 the bauxite is rosy, columnar and porous; Iron-aluminous crust with nucleous digested or no in the aluminous matrix; Concretionary horizon, consisting of a kaolinitic clay matrix, formed the basis for spherulitic ferruginous concretions, porous, zoned, while the top consists particles porcelainized aspect that displays a diffuse zoning outline in the outside by white or pink, then a yellow core and a more nucleous red color that sometimes has brown color; Clay cover formed mainly of kaolinite, gibbsitic nodules, quartz grains and fragments scattered laterite. The trace elements show a relationship with iron oxyhydroxides (Pb, V, As e Mo), anatase (Nb, Ta, W, Sn and Sc), zircon (Zr, Hf, Y and U) and gibbsite (Ga), while the rare earth elements exhibit the same behaviour along the profile which indicates a great genetic relationship between the horizons of the profile. The lateritic profile Juruti consists from bottom to top: Mottled horizon variegated color, Bauxite saccharoidal aspect formed by granules of gibbsite and quartz grains fractured and corroded, further bauxite with rounded ferruginous plasm immersed in aluminous matrix generating a feature breccia; Ferruginous crust massive look massive, porous with cavities filled by goethitic cutas and gibbsite, besides the occurrence of quartz grains fractured and corroded; Ferruginous nodules decreasing grain size toward the top, looks massive porous with cavities filled by goethitic cutas and gibbsite, quartz grains, being immersed in the aluminous matrix of kaolinite; Bauxitic nodules decreasing grain size toward the top, irregular aspect, porous with cavities

filled by gibbsite already in the portion top the nodules are digested by aluminous matrix; Yellowish clay cover with gibbsitic nodules. Since the trace elements in the profile Juruti show concentrations lower than Paragominas and same chemical relationship with iron oxyhydroxides (Pb, V, As e Mo), anatase (Nb, Ta, W, Sn and Sc), zircon (Zr, Hf, Y and U) and gibbsite (Ga), while the rare earth elements occur in the V-shape when normalized to chondrites by enrichment of light rare earth elements (La and Ce) as heavy rareearth elements (Yb and Lu), and marked depression in the range of Nd, Sm, Eu and Gd, and the paralellism of the distribution curves shows that the same genetic relationship between the horizons as Paragominas. The evolutionof lateritic profiles in the two regions are characterized by the following stages: 1 – formation of the crust from the rocks of the Alter do Chão Formation from Juruti, Paragominas derived of the Ipixuna Formation and/or Itapecuru Group; 2 – bauxitization crust; 3 – degradation and partial dismantling of the crust, possibly followed by erosion and deposition for more recessed in the case of PA-256; bauxitization of the nodules and/or concretions and , finally; 5 – formation of Clay cover, called Belterra Clay. The mineralogical and characteristics of the profile studied possibly indicate that these profiles are formed from na evolution *in situ* for the concretionary and/or horizon and clay cover in relation to lateritic crusts. Periodic climatic variations and tectonic activations are mainly responsible for this evolution.

Keywords: Bauxite-Paragominas (PA). Bauxite-Juruti (PA). Nodules. Clay cover.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Mapa de localização das áreas de estudo.....	6
Figura 2- Imagem do perfil laterítico da PA-256 no km 17 ressaltando os horizontes identificados: horizonte mosqueado (A), horizonte argiloso avermelhado (B), bauxita colunar (C), horizonte concrecionário (D) e cobertura argilosa (E).....	13
Figura 3- Perfil laterítico do km 17 da PA-256 no Km 17 ressaltando-se os principais horizontes identificados: horizonte saprolítico (A), horizonte argiloso avermelhado (B), bauxita colunar (C), horizonte concrecionário (D) e cobertura argilosa (E).....	14
Figura 4- Imagem do horizonte argiloso ressaltando na sua base a coloração e no topo a coloração avermelhada.....	15
Figura 5- Minerais identificados por difração de raios-X da bauxita colunar do perfil laterítico da PA-256: Gb – gibbsita e Kln – caulinita.....	16
Figura 6- Fotomicrografia de cutãs goethíticos fibrorradiais, plasma hematítico e corpos subesféricos com delgado córtex goethítico na bauxita colunar. Nicóis cruzado.....	17
Figura 7- Fotomicrografia ressaltando fissuras e outras cavidades de formas diversas, arredondadas a irregulares preenchidos por gibbsita na bauxita colunar. Nicóis cruzado	17
Figura 8- Imagem do horizonte concrecionário (D) em contato brusco com a cobertura argilosa (E).....	18
Figura 9- Imagem do MEV mostrando os numerosos moldes externos indicativos de possíveis grãos de quartzo que foram dissolvidos gerando uma textura porosa. Admite como quartzo, pois é o mineral granular mais frequentemente encontrado nas formações sedimentares e lateríticas.....	19
Figura 10 – Minerais identificados por difração de raios-X na cobertura argilosa do perfil laterítico da PA-256: Gb – gibbsita e Kln – caulinita.....	20
Figura 11 – Cristais de gibbsita (contato retilíneo) envoltos pela matriz de caulinita. Imagem de MEV.....	22
Figura 12 - Imagem do perfil laterítico do platô Jabuti ressaltando os principais horizontes identificados: horizonte saprolítico (A), horizonte bauxítico (B), crosta ferro-aluminosa (C) e cobertura argilosa (D).....	22
Figura 13 - Perfil laterítico do Jabuti com principais horizontes identificados: horizonte saprolítico (A), horizonte bauxítico (B), crosta ferro-aluminosa (C) e cobertura argilosa (D).....	23

Figura 14 - Imagem do horizonte saprolítico com pequenas laminações incipientes.....	24
Figura 15 - Imagem do contato do brusco do horizonte bauxítico (A) e a cobertura argilosa (B) no perfil laterítico do Jabuti.....	25
Figura 16 - Imagem da bauxita cortada por estruturas colunares de composição caulínica gerada pela ação perfurativa das raízes no perfil laterítico do Jabuti.....	26
Figura 17- Bauxita microcristalina de coloração lilás (predominante) e rosada com algumas porções brancas, de aspecto maciço a cavernoso, provavelmente, de composição caulínica e plasma goethítico amarronzados infiltrando.....	27
Figura 18- Minerais identificados por DRX na bauxita do platô Jabuti: Gb – Gibbsita e Kln – caulinita.....	28
Figura 19- Fotomicrografia mostrando plasma de aspecto nodular lhe conferindo uma textura brechóide imerso em matriz aluminosa criptocristalina. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.....	28
Figura 20- Fotomicrografia mostrando cutãs goethíticos fibrorradiais preenchendo vazios no plasma esverdeado. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.....	29
Figura 21- Fotomicrografia enaltecendo cavidades irregulares preenchidas por gibbsita. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.....	29
Figura 22- Fotomicrografia ilustrando poros subsféricos preenchidos de forma parcial ou total pela gibbsita. Nicóis cruzados na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.....	29
Figura 23- Fotomicrografia ilustrando agregados irregulares de cristais de quartzo, fraturados e corroídos no interior das cavidades. Nicóis cruzados na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.....	30
Figura 24- Crosta ferro-aluminosa de estrutura colunar com cavidades preenchidas principalmente por argila do tipo caulinita.....	31
Figura 25 - Minerais identificados por DRX na crosta ferro-aluminosa do platô Jabuti: Gb – gibbsita e Hm - hematita.....	32
Figura 26 - Detalhe da crosta ferro-aluminosa de textura brechóide em aspecto de pele de onça.....	33
Figura 27 - Fotomicrografia de nódulos com uma auréola de alteração que lembra um córtex goethítico imerso em matriz aluminosa. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.....	33

Figura 28 - Fotomicrografia da alternância de plasma de cor vermelha e preta gerando uma textura do tipo coliforme. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.....	34
Figura 29 - Fotomicrografia de intraplasma de coloração verde e marrom gerando um aspecto brechado. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.....	34
Figura 30 - Fotomicrografia de nódulo do tipo intraplasma digerido pela matriz. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.....	34
Figura 31 - Fotomicrografia da textura celular com os poros de dissolução de grãos de quartzo preenchidos por gibbsita exibindo um maclamento polissintético. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.....	35
Figura 32 - Fotomicrografia de gibbsita preenchendo a fratura de forma perpendicular a parede da cavidade. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.....	35
Figura 33 - Minerais identificados por DRX na cobertura argilosa do perfil laterítico do platô Jabuti: Kln- caulinita, Gb – gibbsita e Gt – goethita.....	36
Figura 34 - Fotomicrografia de cristais de gibbsita subédrico com contato reto exibindo o maclamento concêntrico. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.....	37
Figura 35 - Imagem do perfil laterítico de Juruti ressaltando os horizontes identificados: horizonte mosqueado (A), horizonte bauxítico (B), crosta ferruginosa (C), horizonte nodular ferruginoso (D), horizonte nodular bauxítico (E) e a cobertura argilosa (F).....	38
Figura 36 - Perfil laterítico da Mina de Juruti com os horizontes identificados: horizonte mosqueado, horizonte bauxítico, crosta ferruginosa, horizonte nodular ferruginoso, horizonte nodular bauxítico e a cobertura argilosa.....	39
Figura 37 - Minerais identificados por DRX no horizonte mosqueado do perfil laterítico de Juruti: Gb – gibbsita, Kln – caulinita e Hm – hematita.....	40
Figura 38 - Fotomicrografia de gibbsita com cimento ferruginoso em fácies sacaroidal. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.....	41
Figura 39- Fotomicrografia de grãos de quartzo corroídos e fraturados na parte central das cavidades com ou sem cristais de gibbsita em fácies sacaroidal. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.....	42
Figura 40 - Fotomicrografia de um intraplasma arredondado a subarredondado de fácies ferruginosa associada com gibbsita em fácies sacaroidal gerando uma textura brechóide. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.....	42
Figura 41 - Crosta ferro-aluminosa de nódulos arredondados a subarredondados ferruginosos imersos em uma matriz aluminosa exibindo um aspecto brechóide.....	43
Figura 42 - Minerais identificados por DRX na crosta ferruginosa do perfil laterítico de Juruti: Gb – gibbsita e Hm – hematita.....	44

Figura 43 - Fotomicrografia de cristais de gibbsita preenchendo as cavidades de dissolução de forma parcial ou total associado com plasma ferruginoso gerando uma textura do tipo celular. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.....	44
Figura 44 - Fotomicrografia de cutãs goethíticos preenchendo as cavidades de dissolução de forma perpendicular as cavidades da crosta. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.....	45
Figura 45 - Contato gradativo entre o horizonte nodular ferruginoso e horizonte nodular bauxítico.....	46
Figura 46 - Minerais identificados por DRX no horizonte nodular ferruginoso no perfil laterítico de Juruti: Gb – gibbsita, Hm – hematita e Kln – caulinita.....	47
Figura 47 - Nódulos ferruginosos de tamanhos maiores na base e menores no topo, imersos na matriz argilosa composta de caulinita e gibbsita.....	47
Figura 48 - Imagem de MEV exibindo um cimento ferruginoso na forma de feixes ou leques preenchendo cavidades dos nódulos ferruginosos.....	48
Figura 49 - Fotomicrografia de grãos de quartzo fraturados e corroídos na parte central das cavidades, cujas bordas dos grãos de quartzo são ocorridos cristais de gibbsita. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.....	48
Figura 50 - Nódulos bauxíticos de tamanhos maiores na base e menores no topo, imersos na matriz argilosa composta de caulinita e gibbsita.....	50
Figura 51 - Minerais identificados por DRX no horizonte nodular bauxítico no perfil laterítico de Juruti: Gb – gibbsita e Kln – caulinita.....	50
Figura 52 - Fotomicrografia mostrando nódulos opacos de forma subarredondados imersos em plasma gibbsítico-goethítico com microfissuras preenchidas por gibbsita. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.....	51
Figura 53 - Fotomicrografia de material micronodular intraplasma em plasma de gibbsita-goethita, microfissura, em que as fissura foram preenchidas por gibbsita cristalina aluminosa. Nicóis paralelos na imagem à esquerda e nicóis cruzado a direita.....	51
Figura 54 - Minerais identificados por DRX na parte inferior da cobertura argilosa no perfil laterítico de Juruti: Gb – gibbsita, Kln – caulinita e Gt – goethita.....	52
Figura 55 - Minerais identificados por DRX na parte superior da cobertura argilosa no perfil laterítico de Juruti: Gb – gibbsita, Kln – caulinita e Gt – goethita.....	53
Figura 56 - Digrama de correlação entre Fe ₂ O ₃ /Pb (a), Al ₂ O ₃ /Ga (b), TiO ₂ /Sn (c), TiO ₂ /Nb (d), TiO ₂ /Ta (e) e TiO ₂ /W (f) no perfil laterítico PA-256.....	57
Figura 57 - Diagrama de correlação entre U/Zr (a), Hf/Zr (b) e Y/Zr (c) no perfil laterítico PA-256.....	58
Figura 58 - Curvas de distribuição dos ETR normalizados a média crustal no perfil laterítico PA-256.....	60

Figura 59 - Curvas de distribuição dos ETR normalizados aos condritos no perfil laterítico PA-256.....	60
Figura 60 - Digrama de correlação entre Fe_2O_3/V (a), Fe_2O_3/Mo , Fe_2O_3/Pb (c), Fe_2O_3/As (d), Fe_2O_3/Ga (e) e Al_2O_3/Ga (f) no perfil laterítico Jabuti.....	64
Figura 61 - Diagramas de correlação entre TiO_2/Sn (a), TiO_2/Nb (b), TiO_2/Ta (c), TiO_2/W (d) e TiO_2/Sc (e) no perfil laterítico Jabuti.....	65
Figura 62 - Diagrama de correlação entre U/Zr (a), Hf/Zr (b) e Y/Zr (c) no perfil laterítico Jabuti.....	66
Figura 63 - Curvas de distribuição dos ETR normalizados a crosta superior no perfil laterítico Jabuti.....	68
Figura 64 - Curvas de distribuição dos ETR normalizados aos condritos no perfil laterítico Jabuti.....	68
Figura 65 - Distribuição das concentrações dos óxidos SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e perda ao fogo (P.F.) ao longo do perfil laterítico de Juruti.....	71
Figura 66 - Diagramas de correlação entre Fe_2O_3/V (a), Fe_2O_3/Mo (b), Fe_2O_3/As (c), Fe_2O_3/Pb (d) e Fe_2O_3/Cr (e) no perfil laterítico Juruti.....	75
Figura 67 - Diagramas de correlação entre TiO_2/Nb (a), TiO_2/Ta (b), TiO_2/Sn (c), TiO_2/W (d) e TiO_2/Sr (e) no perfil laterítico Juruti.....	76
Figura 68 - Diagrama de correlação entre U/Zr (a), Hf/Zr (b) e Y/Zr (c) no perfil laterítico Juruti.....	77
Figura 69 - Curva de distribuição dos ETR normalizados a crosta superior no perfil laterítico Juruti.....	78
Figura 70 - Curva de distribuição dos ETR normalizados aos condritos no perfil laterítico Juruti.....	78
Figura 71 - Esquema da formação do perfil laterítico bauxítico ressaltando as fases de evolução: formação da crosta (A), bauxitização (B), desmantelamento da crosta (C), bauxitização dos nódulos (D) e formação da cobertura argilosa (E).....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Coluna lito-estratigráfica da Bacia do Grajaú e Plataforma Bragantina..	8
Tabela 2- Composição química do perfil laterítico PA-256 km-17 (% em peso)...	55
Tabela 3- Concentração dos elementos traços (ppm) no perfil laterítico PA-256....	57
Tabela 4- Concentração dos elementos terras raras (ppm) no perfil laterítico PA-256.....	60
Tabela 5- Composição química do perfil laterítico Jabuti.....	62
Tabela 6- Concentração dos elementos traços (ppm) do perfil laterítico Jabuti.....	64
Tabela 7- Concentração dos elementos terras raras em ppm no perfil laterítico Jabuti.....	68
Tabela 8- Composição química do perfil laterítico de Juruti.....	74
Tabela 9- Concentração de elementos traços do perfil laterítico de Juruti.....	74
Tabela 10- Continuação da concentração de elementos traços do perfil laterítico de Juruti.....	75
Tabela 11- Concentração de elementos terras raras do perfil laterítico de Juruti.....	79

LISTA DE ABREVIATURAS

DRX- Difração de Raios-X.

Gb- Gibbsita

Kln - Caulinita

Hm- Hematita

Gt- Goethita

Qz- Quartzo

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	5
2.1 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO.....	5
2.2 PARAGOMINAS.....	5
2.2.1 Aspectos fisiográficos	5
2.2.2 Aspectos geológicos	7
2.2.2.1 Formação Grajaú.....	7
2.2.2.2 Formação Codó.....	8
2.2.2.3 Formação Ipixuna.....	9
2.2.2.4 Grupo Itapecuru.....	9
2.2.2.5 Formação Pirabas.....	9
2.2.2.6 Formação Barreiras.....	9
2.3 JURUTI.....	9
2.3.1 Aspectos fisiográficos	9
2.3.2 Aspectos geológicos	10
3. MATERIAIS E MÉTODOS	11
3.1 DESCRIÇÃO DOS PERFIS E AMOSTRAGEM.....	11
3.2 ANÁLISES MINERALÓGICAS.....	11
3.3 ANÁLISES MACROMORFOLÓGICA E MICROMORFOLÓGICA.....	11
3.4 ANÁLISES QUÍMICAS.....	12
4 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA MACROMORFOLÓGICA E MICROMORFOLÓGICA	13
4.1 PERFIL LATERÍTICO DA PA-256.....	13

4.1.1 Horizonte Saprolítico	15
4.1.2 Horizonte Argiloso	15
4.1.3 Bauxita Colunar	16
4.1.4 Horizonte Concrecionário	17
4.1.5 Cobertura Argilosa	19
4.2 PERFIL LATERÍTICO DO JABUTI	22
4.2.1 Horizonte Saprolítico	24
4.2.2 Horizonte Bauxítico	25
4.2.3 Crosta Ferro-aluminosa	30
4.2.4 Cobertura Argilosa	35
4.3 PERFIL LATERÍTICO DE JURUTI	38
4.3.1 Horizonte Mosqueado	40
4.3.2 Horizonte Bauxítico	40
4.3.3 Crosta Ferruginosa	42
4.3.4 Horizonte Nodular Ferruginoso	45
4.3.5 Horizonte Nodular Bauxítico	49
4.3.6 Cobertura Argilosa	51
5 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA	54
5.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO PERFIL PA-256	54
5.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO PERFIL JABUTI	61
5.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO PERFIL LATERÍTICO JURUTI	69
6 DISCUSSÕES	80

7 CONCLUSÕES.....	86
REFERÊNCIAS.....	88

1 INTRODUÇÃO

O clima sazonal quente e úmido que se estabeleceu sobre a Amazônia a partir do Cenozóico foi propício para a atuação de intenso intemperismo tropical e o desenvolvimento de perfis lateríticos (Costa 1991, Boulangé & Carvalho 1997, Costa 2007) relacionados da quinta a oitava fase de lateritização global proposta por Costa (2009) em que a formação de bauxita laterítica se deu fundamentalmente nas fases quinta e sexta.

Os principais depósitos bauxíticos da Amazônia foram formados a partir de rochas siliciclásticas das Formações Itapecuru/Ipixuna (Paragominas) e Alter do Chão (Juruti, Trombetas e Almerim), bacias do Grajaú e Amazonas, respectivamente. Entretanto rochas ígneas e metamórficas também deram origem a depósitos bauxíticos na Amazônia (Costa *et al.* 1988).

As bauxitas da região de Trombetas e Paragominas foram interpretadas inicialmente como formações residuais geradas *in situ* a partir de sedimentos da Formação Barreiras do Terciário Superior (Wolf & Silva 1973, Dennen & Norton 1977, Grubb 1979, Aleva 1981). Dennen & Norton (1977) sugerem uma evolução complexa para as bauxitas de Almeirim na região do Baixo Amazonas a partir da ocorrência de dois níveis aluminosos separados por um horizonte ferruginoso semelhante às bauxitas no Suriname descritas por Van Kersen (1956).

Greig (1977), no entanto observou que as bauxitas e lateritas situadas ao sul de Paragominas teriam sido geradas a partir de rochas sedimentares do Cretáceo, enquanto que as da região de Trombetas a partir dos sedimentos da Formação Alter do Chão. Por sua vez Kotschoubey & Truckenbrodt (1981) e Góes (1995) concluíram que as bauxitas de Paragominas eram de fato formadas a partir do intemperismo das rochas siliciclásticas da Formação Ipixuna, de ambiente flúvio-estuarino, do Cretáceo Superior (Santos Jr. & Rossetti 2002) e Itapecuru, de ambiente estuarino-lagunar, do Albiano-Senoniano (Góes 1995, Rossetti & Truckenbrodt 1999). Portanto Greig (1977) tinha razão.

Grubb (1979) em uma análise comparativa dos depósitos bauxíticos da região costeira das Guianas e da Amazônia Brasileira como caso de Paragominas e Trombetas propôs uma evolução polifásica iniciada com uma bauxitização total dos sedimentos associada com uma ferrificação em condições podzólicas, seguida de uma segunda fase de bauxitização nas zonas de fraturas das bauxitas preexistentes. Este autor ressaltou a importância das migrações de alumínio e ferro, e dos retrabalhamentos mecânicos na formação do perfil laterítico.

Estudos geoquímicos foram desenvolvidos em alguns depósitos do Baixo Amazonas e da região de Paragominas (Dennen & Norton 1977, Kronberg *et al.* 1979 e 1982) com o objetivo de entender os processos de mobilização e imobilização dos elementos químicos, neoformação de minerais e estabilidade de minerais primários, e desta forma identificar heranças geoquímicas das rochas-mães. Os principais elementos apreciados foram V, P, Ga e Mn, enriquecidos nas bauxitas com afinidade não com a gibbsita e sim com a caulinita e óxido de ferro, enquanto Pb, Sr e Ba lixiviados.

Kotschoubey & Truckenbrodt (1981) aprofundaram as idéias da complexidade genética e da evolução polifásica das sequências laterito-bauxíticas de Dennen & Norton (1977) e Grubb (1979) e propuseram para as bauxitas uma evolução poligenética compreendendo 5 fases de formação: formação do saprólito, formação da crosta ferro-aluminosa e retrabalhamento parcial, primeira fase de gibbsitização da crosta pré-existente com formação do horizonte bauxítico, segunda fase de retrabalhamento com deposição de cascalho ferruginoso e segunda fase de gibbsitização.

Kotschoubey *et al.* (1984, 1994, 1997) propuseram na região de Paragominas um novo modelo polifásico com desmantelamento da crosta e formação de extensos glaciais de acumulação, ferruginização do substrato sedimentar através da podzolização e redistribuição lateral de ferro e precipitação como óxi-hidróxido de ferro, bauxitização do perfil em três fases. Esta fase de bauxitização envolveu quatro fácies como produto de um zoneamento regional (Kotschoubey *et al.* 2005a e b).

Boulangé & Carvalho (1997) sugeriram para as bauxitas da região do Baixo Amazonas uma evolução *in situ* a partir da redistribuição do ferro e alumínio das águas percolantes, sem contribuição destes elementos por aporte lateral com transformação progressiva da crosta e individualização dos horizontes de forma químico-composicional, textural e mineralógicos distintos. Por sua vez, Lucas (1997) propôs uma evolução poligenética marcada em três fases de formação: ferruginização dos sedimentos da Formação Alter do Chão, bauxitização parcial ou total da crosta e desenvolvimento de um novo perfil laterítico a partir do perfil antigo.

Sobre os depósitos bauxíticos da Amazônia estabeleceram-se coberturas argilosas avermelhadas a amareladas, denominadas de Argila de Belterra (Horbe & Costa 1997 e 1999,

Kotschoubey *et al.* 1984, 1994, 1997), que se equivaleria a latossolos (Horbe 1995, Horbe & Costa 2005, Lucas *et al.* 1993, Truckenbrodt & Kotschoubey 1981, Truckenbrodt *et al.* 1991). Ela foi pela primeira vez descrita por Sombroek (1966) na vila de Belterra município de Santarém. Este autor descreveu como material argiloso de aspecto homogêneo sem nenhuma estruturação. Ele admitiu que fossem argilas depositadas distalmente em um extenso lago na Amazônia do Plioceno ao Pleistoceno, cuja área-fonte estaria na Cadeia Andina.

Truckenbrodt & Kotschoubey (1981) admitem como de origem alóctone, tipo *mud flow* ou *sheet flood* sob clima de tendência árida e, posteriormente; mais tarde relacionou-a a latossolos amarelos (Kotschoubey & Duarte, 1994). Grubb (1979) sustenta uma deposição coluvionar.

Truckenbrodt *et al.* 1991 propuseram ainda que fosse produto da atividade de térmitas sobre material saprolítico, transportado para a superfície.

Horbe & Costa (1997, 1999) e Kronberg *et al.* (1982) discutem com base em dados de campo, mineralógicos e geoquímicos que os latossolos ou argila de Belterra seriam formados *in situ* como produto do processo de degradação química (intemperismo) da crosta e ferruginosa e das bauxitas. Para Bardossy & Aleva (1989) seria uma desaluminização da parte superior de uma crosta bauxítica pretérita. Beauvais & Tardy (1993) e Tardy (1993) defendem uma origem autóctone pelo desmantelamento da crosta tanto em clima seco, em região de savana, como em clima úmido com florestas tropicais, conforme observaram região na África Central. Esse processo leva a formação de nódulos.

Lucas *et al.* (1993) interpretaram um horizonte caulínico no topo do perfil laterítico como formado *in situ* resultante da diferenciação geoquímica mantida, sob floresta tropical úmida, pelo aporte de sílica através da atividade biológica.

Em diferentes exposições de depósitos lateríticos bauxíticos na Amazônia são observadas com frequência a ocorrência do horizonte concrecionário ou nodulares constituídos tanto de bauxitas e/ou crostas ferro-aluminosas, com espessura variando entre alguns centímetros a quase 1 metro. Este horizonte pode descrever uma superfície ondulada sobrepondo o horizonte bauxítico (Kotschoubey *et al.* 2005). Este nível encontra-se normalmente entre o topo do perfil laterítico e a cobertura de argilosa amarela, mas conhecida como Argila de Belterra ou ainda latossolo.

O propósito do presente trabalho é contribuir a um melhor conhecimento da evolução geológica durante o Cenozóico, nas regiões de Paragominas e Juruti, dando ênfase ao significado, em termos evolutivos, das crostas lateríticas, horizonte concrecionário e/ou nodulares e da cobertura argilosa. Com isto estabelecer a relação do horizonte concrecionário ou nodular com o perfil laterítico bauxítico, fornecer novos entendimento na origem da cobertura argilosa e a evolução da paleosuperfície.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram selecionadas duas regiões de importantes depósitos de bauxitas: Paragominas no nordeste do Pará e Juruti no Baixo Amazonas para confrontação e avaliar possíveis variações genéticas distintas e/ou semelhantes entre os perfis estudados.

2.1 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

Para realização deste trabalho foram selecionadas duas importantes áreas da região Amazônica (figura 1). A primeira área está localizada no distrito bauxitífero da região de Paragominas, na região nordeste do Pará distante cerca 250 km de Belém, e foram selecionados o perfil da PA-256 km-17 e o platô Jabuti. A segunda área localiza-se na região do Baixo Amazonas, porção noroeste do Pará distante cerca 200 km de Santarém, nas trincheiras e frente de lavra da Mina de Juruti.

2.2 PARAGOMINAS

2.2.1 Aspectos fisiográficos

A região está situada no domínio morfoestrutural do Planalto Setentrional do Pará-Maranhão composto pela superfície tabular ou pediplana e os morros (Kotschoubey *et al.* 2005a). A superfície tabular compreende aos platôs sustentados por crostas ferro-aluminosas com sua cobertura argilosa relacionada à Superfície Sul Americana (Truckenbrodt *et al.* 1982). Os morros abaulados são derivados do relevo tabular através da remoção da crosta e seu capeamento que corresponde a Superfície Velha Jovem (Kotschoubey *et al.* 2005a).

A rede de drenagem está representada pelas bacias dos rios Capim e Gurupi e seus afluentes e subafluentes, como o rio Potiritá, Igarapés Parariquara, Ipixuna e Jabuti Maior. As direções preferenciais dos vales são NE-SW e SE-NW, com rios com vales em “U”, igarapés e extensas áreas inundáveis, fraca competência e inúmeros meandros. O clima da região é do tipo **Am** na classificação de Köppen, tendendo para o tipo Aw para a porção Meridional da região. Corresponde ao padrão climático característico das regiões equatoriais tropicais, no qual predominam as chuvas distribuídas durante todo ano, com maior precipitação nos meses de dezembro a maio, e estiagem de junho a novembro.

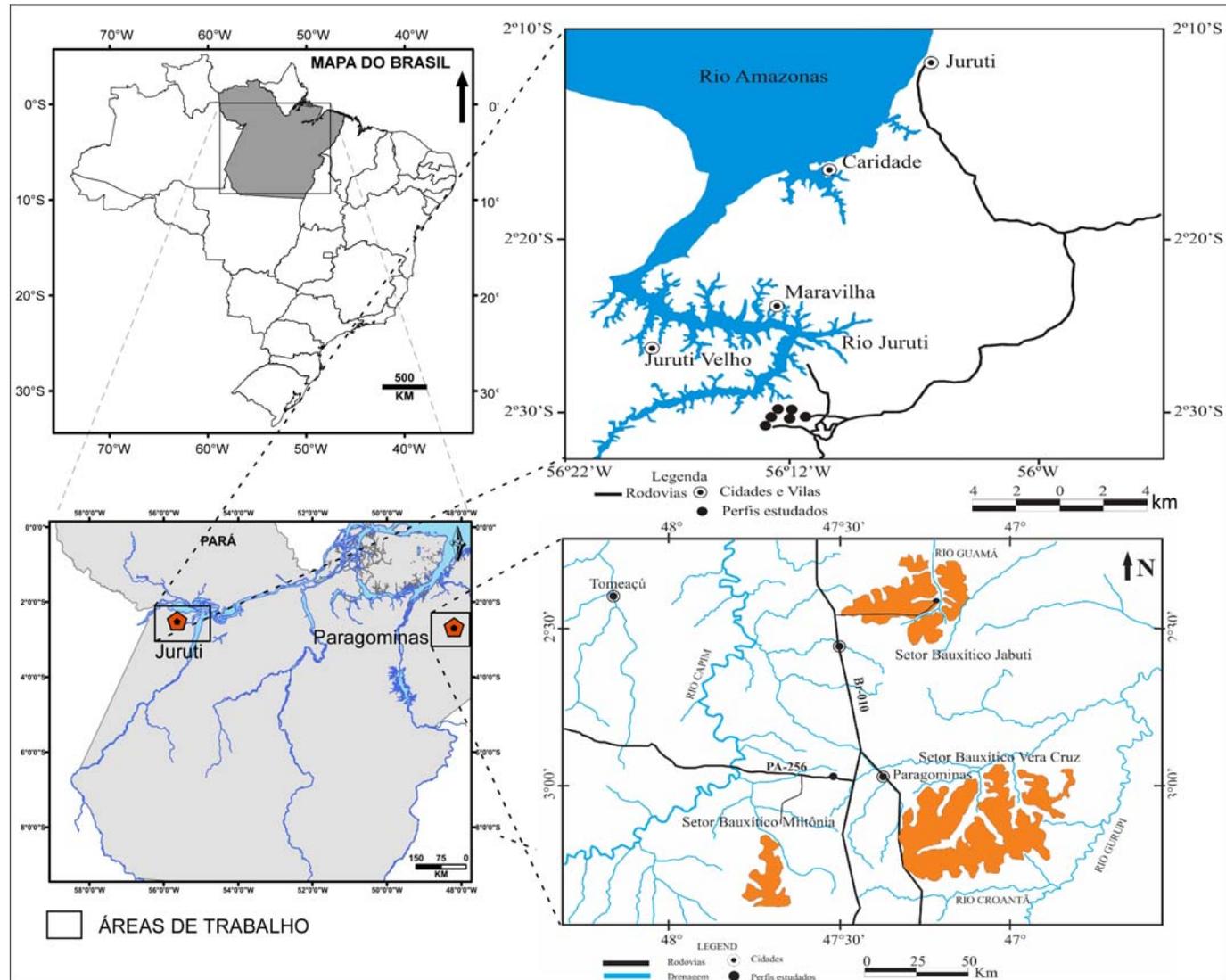


Figura 1 – Mapa de localização das áreas de estudo.

A precipitação pluviométrica anual é em média de 2200 mm, com média mensal de 180 mm. A temperatura é quase sempre alta e uniforme, atingindo a máxima de 33 °C, sendo o mês de outubro o mais quente, enquanto a mínima chega a 20°C. A umidade relativa do ar apresenta valores elevados, com média de 90%.

A vegetação primária é de floresta equatorial latifoliada, em alguns pontos de forma densa e relativamente baixa. A vegetação secundária está representada principalmente pela pastagem para a criação de gados e grandes plantações de eucalipto e pimenta do reino. Recentemente intensificou-se a agricultura, em que soja tem assumido notável extensão.

2.2.2 Aspectos geológicos

Segundo Kotschoubey *et al.* (2005), a região de Paragominas é constituída a partir dos sedimentos da parte noroeste da Bacia do Grajaú e pela porção meridional da Plataforma Bragantina (tabela 1). A bacia do Grajaú é limitada pela Bacia dos Alpercatas, sudoeste pelas rochas do Cinturão Araguaia, enquanto que a norte limitada pelo Cratón São Luis e o Cinturão Gurupi, leste contato com sedimentos da Bacia do Parnaíba, a noroeste passa para os sedimentos da Plataforma Bragantina.

A bacia do Grajaú foi preenchida durante o Aptiano-Cenomaniano com sedimentos eólicos da formação Grajaú (Soares Jr.2007, Petri & Fúlfaro (1983), flúvio-lacustres da Formação Codó (Neoaptiano) (Gonçalves *et al.* 2006), flúvio-estuarinos do Cretáceo da Formação Ipixuna (Rossetti & Truckenbrodt 1999, Santos & Rossetti 2002) e estuarinos lagunares do Albiano-Senoniano do Grupo Itapecuru (Góes 1995, Rossetti & Truckenbrodt 1999). Esses sedimentos da Bacia de Grajaú foram parcialmente recobertos a partir do Oligoceno/Mioceno, pelas formações Pirabas e Barreiras e Sedimentos Pós-Barreiras (Rossetti e Truckenbrodt, 1997; Rossetti, 2000, 2004).

2.2.2.1 Formação Grajaú

A Formação Grajaú é constituída na sua base por conglomerados de quartzo oligomíticos e na superior por arenitos finos amarelados a brancos, ricos em quartzo, exibindo estratificação cruzada (Petri & Fúlfaro 1983, Soares Jr. (2007)).

Tabela 1 - Coluna lito-estratigráfica da Bacia do Grajaú e Plataforma Bragantina.

Unidades Estratigráficas	Idade	Referências
Formação Barreiras	Mioceno - Plio- Pleistógeno Mioceno Inferior	Rosseti <i>et al</i> (1989) Rosseti (2001)
Formação Pirabas	Oligoceno-Mioceno Inferior Mioceno Inferior	Góes (1981) Rosseti (2001)
Grupo Itapecuru	Cretáceo Superior	Rosseti & Truckenbrodt (1999) Anaisse Jr. (1999)
Formação Ipixuna	Cretáceo Superior- Terciário Inferior	Rosseti & Truckenbrodt (1999) Santos & Rosseti (2007)
Formação Codó	Cretáceo (Neoaptiano)	Gonçalves et al (2006)
Formação Grajaú	Cretáceo (Aptiano)	Soares Jr. (2007) Petri & Fúlfaro (1983)

2.2.2.2 Formação Codó

É constituída por folhelhos betuminosos, evaporitos a anidrita, calcários e arenitos, típicos de ambientes lacustres e marinho-marginais (Gonçalves, 2006). O contato é concordante e gradacional com a Formação Grajaú (Petri & Fúlfaro, 1983).

2.2.2.3 Formação Ipixuna

Constitui-se de sedimentos arenoso-argilosos caulínicos, finos, bem selecionados com siltitos e argilitos vermelhos intercalados, exibindo estratificação com brechas intraformacionais, depositada em ambiente flúvio-lacustre, podendo representar a parte superior do Grupo Itapecuru (Santos & Rosseti, 2003 Rosseti & Truckenbrodt (1999). Trata-se provavelmente de arenitos arcoseanos ligeiramente intemperizados.

2.2.2.4 Grupo Itapecuru

É formado por arenitos caulínicos com estratificação cruzada com níveis argilosos e conglomeráticos, provavelmente arcoseanos (Góes, 1981), depositados em ambiente flúvio-lacustre sob clima semi-árido (Anaisse Jr, 1999).

2.2.2.5 Formação Pirabas

Consiste em calcários e margas fossilíferas com intercalações de arenitos calcíferos e argilitos que constituem a Plataforma Bragantina, além de arenitos argilosos e níveis de argilas cinza com margas fósseis indicativo de ambiente marinho, sob clima quente (Kotschoubey et al. 2005).

2.2.2.6 Formação Barreiras

É formada por sedimentos argilosos, arenosos com argilas *semi flint*, conglomeráticos pouco consolidados, estratificados, de coloração preferencialmente amarelada e alaranjada, depositado em inconformidade em relação à Formação Pirabas (Rosseti, 2001).

2.3 JURUTI

2.3.1 Aspectos fisiográficos

A região compreende ao domínio morfoestrutural do Planalto Rebaixado da Amazônia e Planície Amazônica. A área está inserida no domínio morfoclimático das Terras Baixas Florestadas Equatoriais que é caracterizado pela presença de planícies meândricas, superfícies tabulares, morros baixos, terraços com cascalhos e fragmentos lateríticos (Costa, 2008); Planaltos dissecados com áreas pediplanizadas que compreendem aos platôs sustentados pelas crostas lateríticas com sua cobertura argilosa e rampas tabulares relacionada à superfície Sul Americana (CNEC, 2002), no entanto Klamer (1984) e Radam Brasil relacionam os platôs à superfície Paraguaçu enquanto escarpas e as colinas pequenas corresponderiam à superfície

Paraguaçu (CNEC, 2002); Planície Amazônica relacionado aos depósitos fluviais e lacustrinos.

A rede de drenagem está localizada na Bacia do Amazonas que tem como sub-bacia do Igarapé Juruti Grande. O rio Amazonas, que é também de água branca no município e se caracteriza pela instabilidade de seu leito, e modifica o seu curso pelo processo de erosão e sedimentação. A sub-bacia do Igarapé Juruti Grande apresenta densidade de drenagem média e padrão sub-dentrítico (CNEC, 2002).

O clima da região é Af_i de acordo com a classificação de Köppen, sendo inserido no domínio climático Equatorial Continental Amazônico. O período da estação chuvosa estende de novembro a maio e o período de estiagem normalmente ocorre entre junho e outubro (CNEC, 2002).

A precipitação pluviométrica é em média de 2100 mm. A temperatura mais frequente ocorre entre 25,2°C e 26,2°C, atingindo a máxima de 32°C, enquanto a mínima chega a 23°C. A umidade relativa do ar apresenta valores entre 80% e 100%, com média de 85% (CNEC, 2002).

A área é dominada por formações vegetais diferenciadas em florestas Ombrófilas das Terras Baixas e Submontanas localizadas nas regiões dos platôs, enquanto as Florestas Aluviais para os terraços e planícies do rio Amazonas. As formações vegetais de origem secundárias são dominadas por palmeiras, floresta de bambu, florestas com alta densidade de castanheiras, matas de cipó, florestas de cerrado (Baleé, 1989 e 1993).

2.3.2 Aspectos geológicos

As bauxitas de Juruti estão inseridas no contexto do Eocretáceo da porção Ocidental da bacia do Amazonas relacionada à Formação Alter do Chão. Esta é formada por arenitos arcoseanos, pelitos, lamitos, arenitos quartzosos e brechas intraformacional (Cunha *et al.* 1994), formando camadas depositadas em ambiente flúvio-lacustrino, tão bem como paleossolos (Nogueira *et al.* 1999).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DOS PERFIS E AMOSTRAGEM

Os trabalhos de campo foram realizados nas duas áreas estudadas, Paragominas e Juruti. Em cada uma foram selecionados, após levantamento da frente de lavra em Juruti, trincheira no platô Jabuti e de cortes de estrada na PA-256, perfis para descrição da toposequência e em seguida coleta de amostras representativas de cada horizonte com suas diversas variações texturais, mineralógicas e natureza do minério.

3.2 ANÁLISES MINERALÓGICAS

A identificação mineralógica foi realizada inicialmente por difração de raios-X, posteriormente, por microscopia ótica.

As análises por difração de raios-X (DRX) foram realizadas em amostra total (método do pó), utilizando-se um difratômetro de raios-x de marca PANalytical, modelo X'PERT PRO MPD (PW 3040/60), com goniômetro PW 3050/60 (Theta/Theta) e com tubo de raios-x cerâmico de anodo de Cu ($K\alpha$ 1, 540598 Å), modelo PW3373/00, foco fino longo, 2200 W, 60Kv. O detector utilizado é do tipo RTMS, X' Celerator. A aquisição de dados dos registros será feita com o software *X'Pert Data Collector*, versão 2.1^a, e o tratamento dos dados com o software *X'Pert HighScore* versão 2.1b, também da PANalytical.

3.3 ANÁLISES MACROMORFOLÓGICA E MICROMORFOLÓGICA

Para este estudo empregou-se lupa e microscopia ótica a partir de lâminas delgadas e microscopia eletrônica de varredura para os diversos materiais amostrados, especialmente as crostas bauxíticas, além de concreções e nódulos. Na caracterização macroscópica e microscópica foram baseados nos termos e conceitos de Tardy (1993), Calaf (2000), Truckenbrodt & Kotschoubey (1982) e Truckenbrodt *et al.* (1995)

Empregou-se microscópio ótico de luz transmitida da marca Olympus acoplado com uma câmera de mesma marca para obtenção de imagens no Instituto de Geociências da UFPA e microscópio eletrônico de varredura do Museu Emílio Goeldi da marca ZEISS modelo LEO 1430, com operação controlada via software obtendo-se imagens elétron retro-espalhados e análises semiquantitativas, com um sistema de espectrometria de dispersão de raios-X (SED 500 DP), desenvolvido pela IXRF-4 Systems Inc.

3.4 ANÁLISES QUÍMICAS

As análises químicas totais incluindo os elementos-traços são referentes a uma amostra e foram realizadas no Laboratório de Análise Química Acme, no Canadá. O método empregado envolve a abertura total da amostra através de fusão alcalina com metaborato e tetraborato de lítio, com posterior solubilização ácida e, determinação dos elementos por ICP-MS.

4 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA, MACROMORFOLÓGICA E MICROMORFOLÓGICA

4.1 PERFIL LATERÍTICO DA PA-256

O perfil laterítico bauxítico do Km 17 da PA-256 (Figuras 2 e 3) comporta 6 horizontes distintos: horizonte saprolítico (A) na base, seguido pelo horizonte argiloso avermelhado (B), horizonte bauxítico colunar (C), horizonte concrecionário (D) e, por fim ao topo, a cobertura argilosa (E), descritos a seguir.

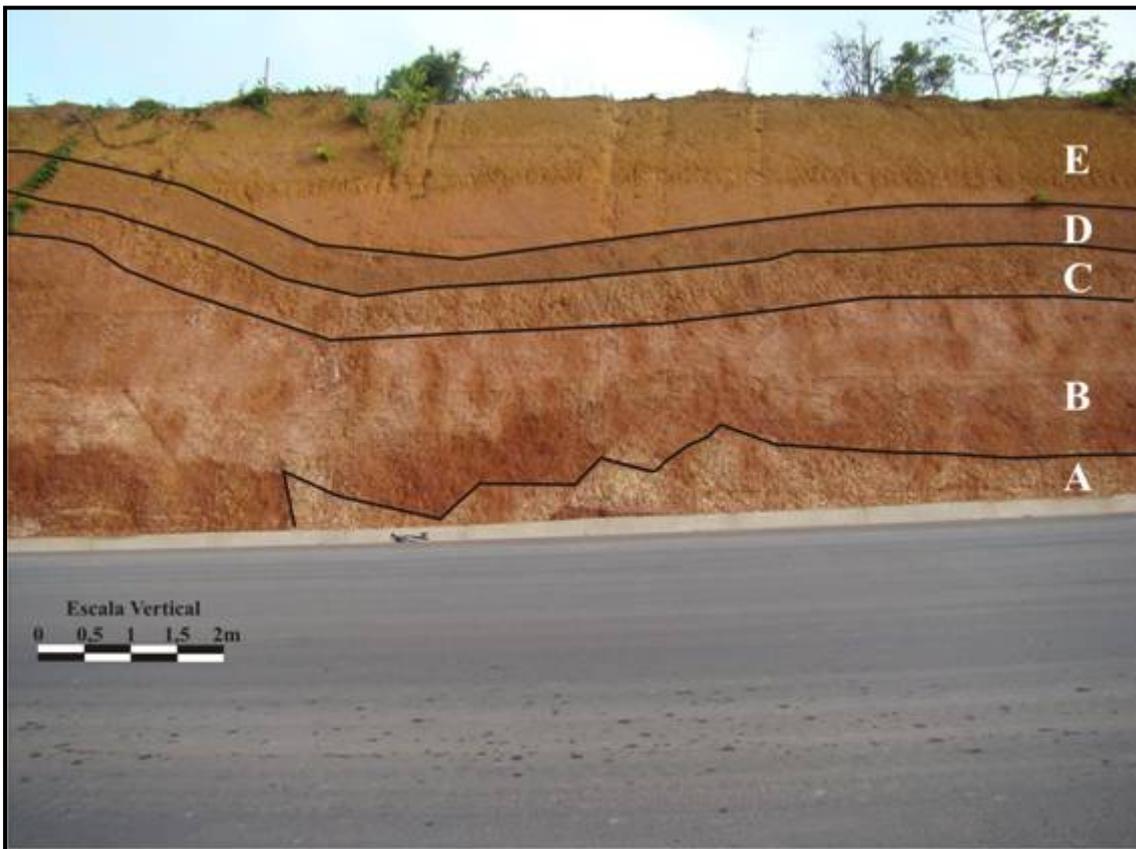


Figura 2 – Imagem do perfil laterítico da PA-256 no km 17 ressaltando os horizontes identificados: horizonte mosqueado (A), horizonte argiloso avermelhado (B), bauxita colunar (C), horizonte concrecionário (D) e cobertura argilosa (E).

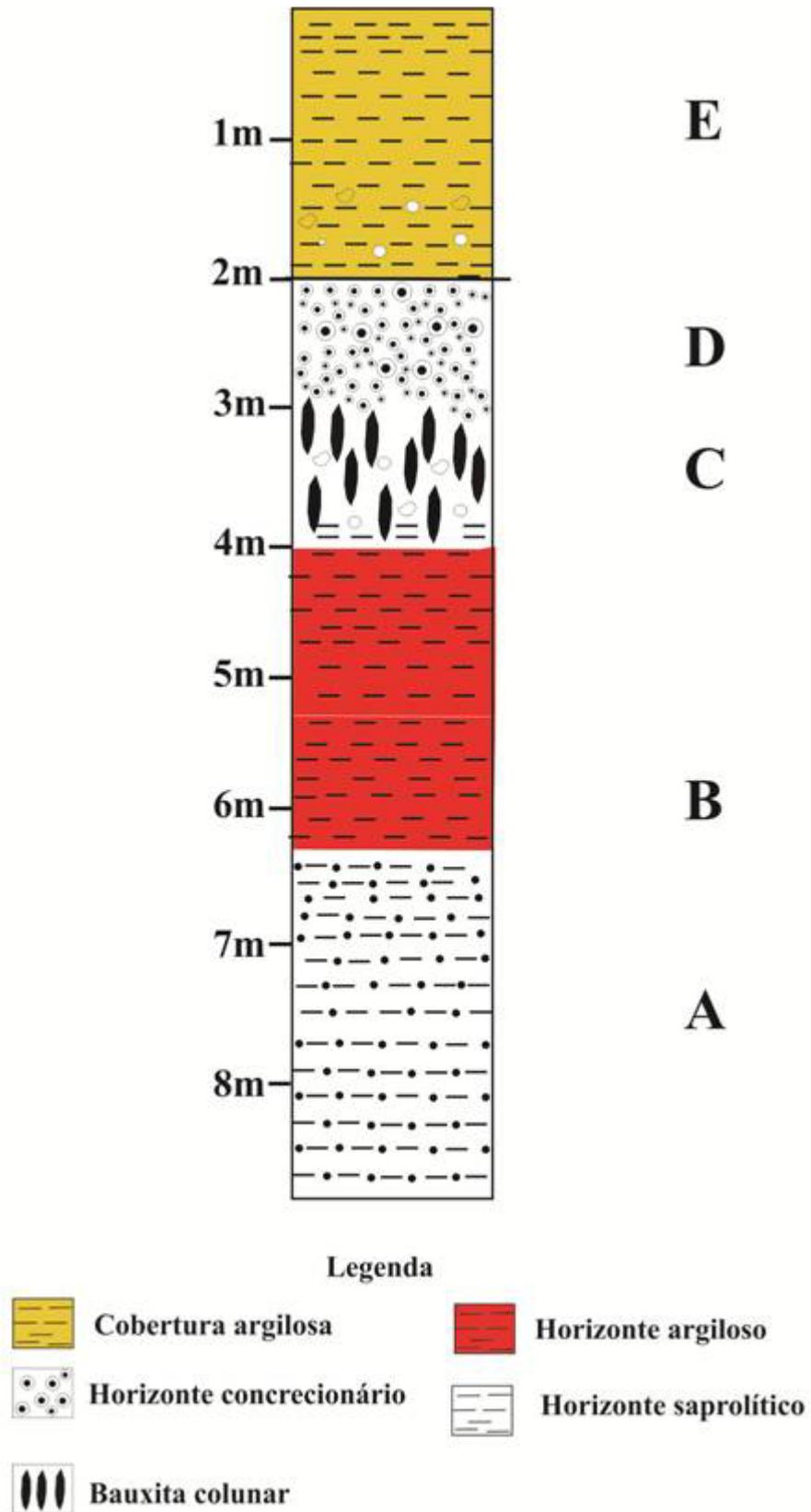


Figura 3 - Perfil laterítico do km 17 da PA-256 no Km 17 ressaltando-se os principais horizontes identificados: horizonte saprolítico (A), horizonte argiloso avermelhado (B), bauxita colunar (C), horizonte concrecionário (D) e cobertura argilosa (E).

4.1.1 Horizonte Saprolítico

O horizonte saprolítico tem 2,8m de espessura mínima, argiloso, de coloração branca e quartzo em grãos frequentemente angulosos, fraturados e altamente corroídos, raro lamelas de muscovita e, localmente, estruturas concêntricas zonadas ou microbandadas, difusas e desagregação de oxi-hidróxidos de ferro. Neste horizonte percebe-se uma laminação incipiente.

4.1.2 Horizonte Argiloso

Este horizonte ocorre com 1 m de espessura, aspecto maciço, silte-argiloso, de coloração avermelhada com notação de 5R4/14 (Munsell, 1975) e manchas de coloração amarelada na porção basal deste horizonte (Figura 4). É formado essencialmente de caulinita e grãos eventuais de quartzo subangulosos e subarrendados. Grada para o horizonte sotoposto, a bauxita colunar, através de contato brusco e ondulado. A porção basal deste horizonte e o horizonte subjacente encontram-se modificados por várias falhas normais com rejeito de aproximadamente 25 cm.



Figura 4 – Imagem do horizonte argiloso ressaltando na sua base a coloração amarelada e no topo a coloração avermelhada.

4.1.3 Bauxita Colunar

Com aproximadamente 1m, é esbranquiçada, e franjas de cor branca possivelmente caulinita. Na parte interna percebe-se uma individualização de aspecto maciço, de coloração rosada, corpos subsféricos ferruginosos englobados por uma massa branca, plasma vermelho. Este horizonte é formado essencialmente por gibbsita e caulinita (figura 5)

Nesta bauxita com auxílio do microscópio óptico foram descritos pequenos cutãs de goethita (Figura 6), plasma hematítico, e uma possível evolução de fácies maciça para fácies pisolítica, com progressiva individualização de pequenos corpos subsféricos ferruginosos de textura fina, geralmente com delgado córtex goethítico (Figura 6), semelhante às bauxitas da África descritas por Tardy (1993).

Nesta bauxita identificam-se fissuras irregulares e poros arredondados a angulosos parcialmente ou totalmente preenchidos por gibbsita maclada. O preenchimento é do tipo franja revestindo as paredes das cavidades dos poros ou na forma de mosaico (Figura 7).

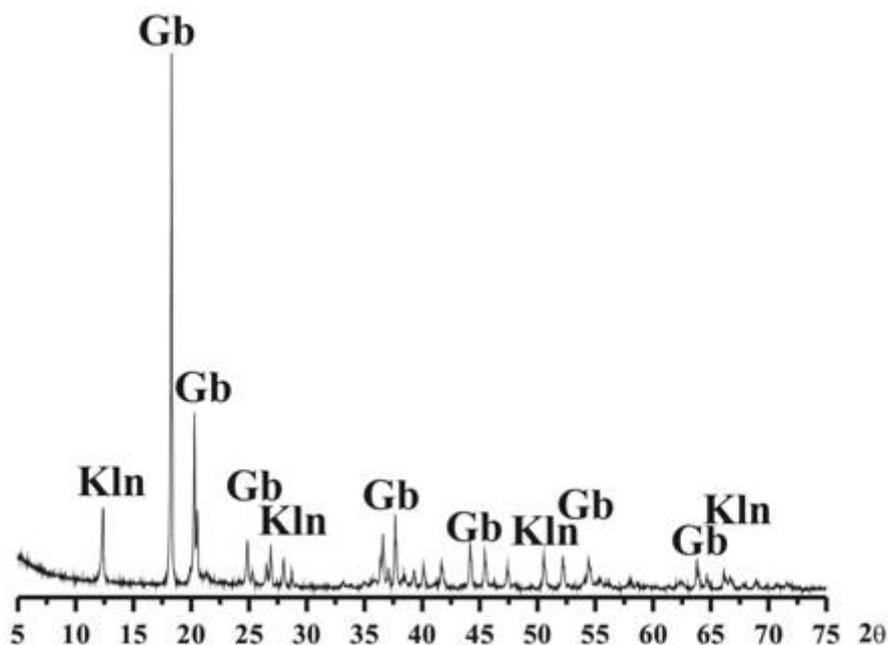


Figura 5 – Minerais identificados por difração de raios-X da bauxita colunar do perfil laterítico da PA-256: Gb – gibbsita e Kln – caulinita.

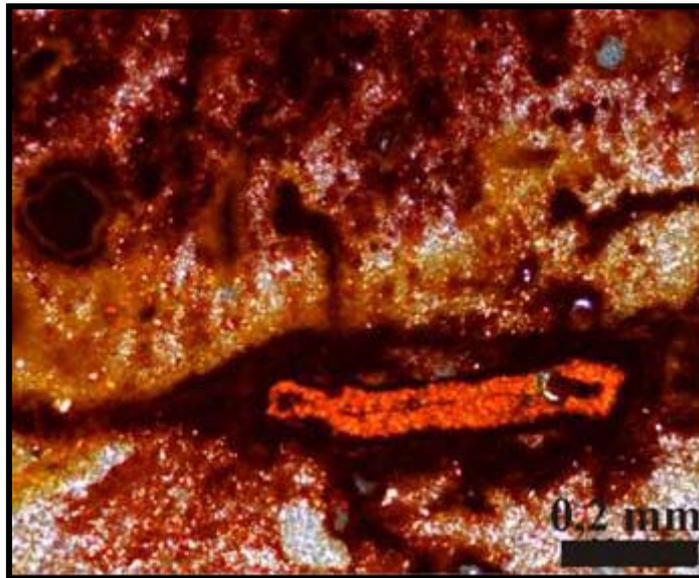


Figura 6 - Fotomicrografia de cutãs goethíticas fibrorradiais, plasma hematítico e corpos subsféricos com delgado córtex goethítico na bauxita colunar. Nicóis cruzado.

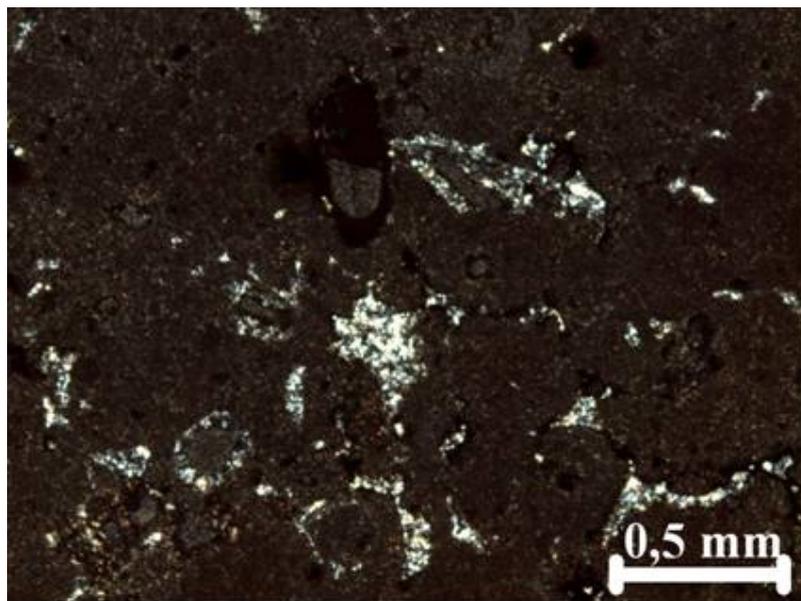


Figura 7 – Fotomicrografia ressaltando fissuras e outras cavidades de formas diversas, arredondadas a irregulares preenchidos por gibbsita na bauxita colunar. Nicóis cruzado.

4.1.4 Horizonte Concrecionário

Este horizonte com 50 cm de espessura está em contato gradacional com o horizonte bauxítico subjacente e um contato brusco com a Argila de Belterra (Figura 8). É caracterizado pela ocorrência na porção basal por concreções de óxi-hidróxidos de ferro, subsféricos com

até 2 cm de diâmetro, zonado, superfície lisa com um brilho intenso, núcleo avermelhado de composição hematítica e bordas amarelas de composição goethítica, enquanto o topo deste horizonte constitui-se de fragmentos concrecionários irregulares de tamanho até 5cm, de aspecto porcelanado que exhibe um zoneamento difuso sublinhado na parte externa pela cor branca ou rosa, em seguida, uma cor amarela e um núcleo mais ferruginoso de cor vermelha que às vezes tem cor marrom.

Nas microcavidades de algumas concreções são preenchidos, raramente, por gibbsita e eventualmente ocorrem numerosos moldes externos de grãos de quartzo indicativos de possíveis grãos de quartzo que foram dissolvidos gerando uma textura porosa. Admite como quartzo, pois é o mineral granular mais frequentemente encontrado nas formações sedimentares e lateríticas (Figura 9). A matriz dos fragmentos concrecionários é criptocristalina, homogênea, aspecto terroso e poroso. Sua mineralogia é composta por caulinita e gibbsita.

A feição ondulada do contato superior do horizonte concrecionário com a cobertura argilosa e a superfície polida de seus fragmentos sugere que o topo do mesmo esteve exposto superfície (Kotschoubey *et al.* 1981, Costa 1991). Os fragmentos de concreções podem representar produtos do intemperismo químico da crosta ferruginosa, seguido por transporte por gravidade para depressões (Horbe & Costa 1999, Kotschoubey *et al.* 2005a).



Figura 8 – Imagem do horizonte concrecionário (D) em contato brusco com a cobertura argilosa (E).

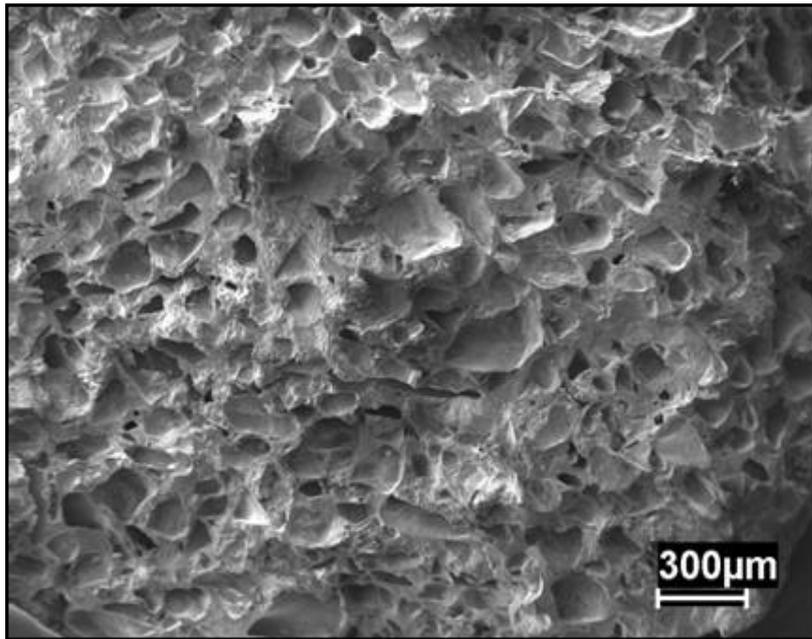


Figura 9 – Imagem do MEV mostrando os numerosos moldes externos indicativos de possíveis grãos de quartzo que foram dissolvidos gerando uma textura porosa. Admite como quartzo, pois é o mineral granular mais frequentemente encontrado nas formações sedimentares e lateríticas.

4.1.5 Cobertura Argilosa

Como já apresentado anteriormente corresponde aos latossolos, de grande extensão na região Amazônica, ocupando a superfície dos terrenos (Truckenbrodt & Kotschoubey 1981, Truckenbrodt *et al.* 1991, Lucas *et al.* 1993, Horbe 1995, Horbe & Costa 1999 e 2005, Boulangé & Carvalho 1997, Calaf 2000, Larizzatti & Oliveira 2005, Pereira & Horbe 2009). Apresenta coloração creme-amarelado com notação de 10YR 4/3 (Munsell, 1975), de constituição homogênea, textura argilosa, com nódulos de gibbsita rosada de tamanho que varia de 0,2 mm a 2,5 cm, sem estruturação visível e microagregada, dispersos no topo e muito frequentes na base. É constituída essencialmente de caulinita e gibbsita (Figura 10). Grãos de quartzo corroídos ocorrem esporadicamente. Na porção inferior desta cobertura encontram-se relictos alongados e subsféricos de agregados microcristalino, de aspecto porcelanado constituído de gibbsita, que passa para um horizonte concrecionário.

Os nódulos têm tamanho até 5 cm de comprimento, forma diversas, irregular alongada. Estes nódulos são formados por grãos de quartzo e cristais de gibbsita imersos na matriz criptocristalina de composição sílica aluminosa (caulinita) (Figura 11).

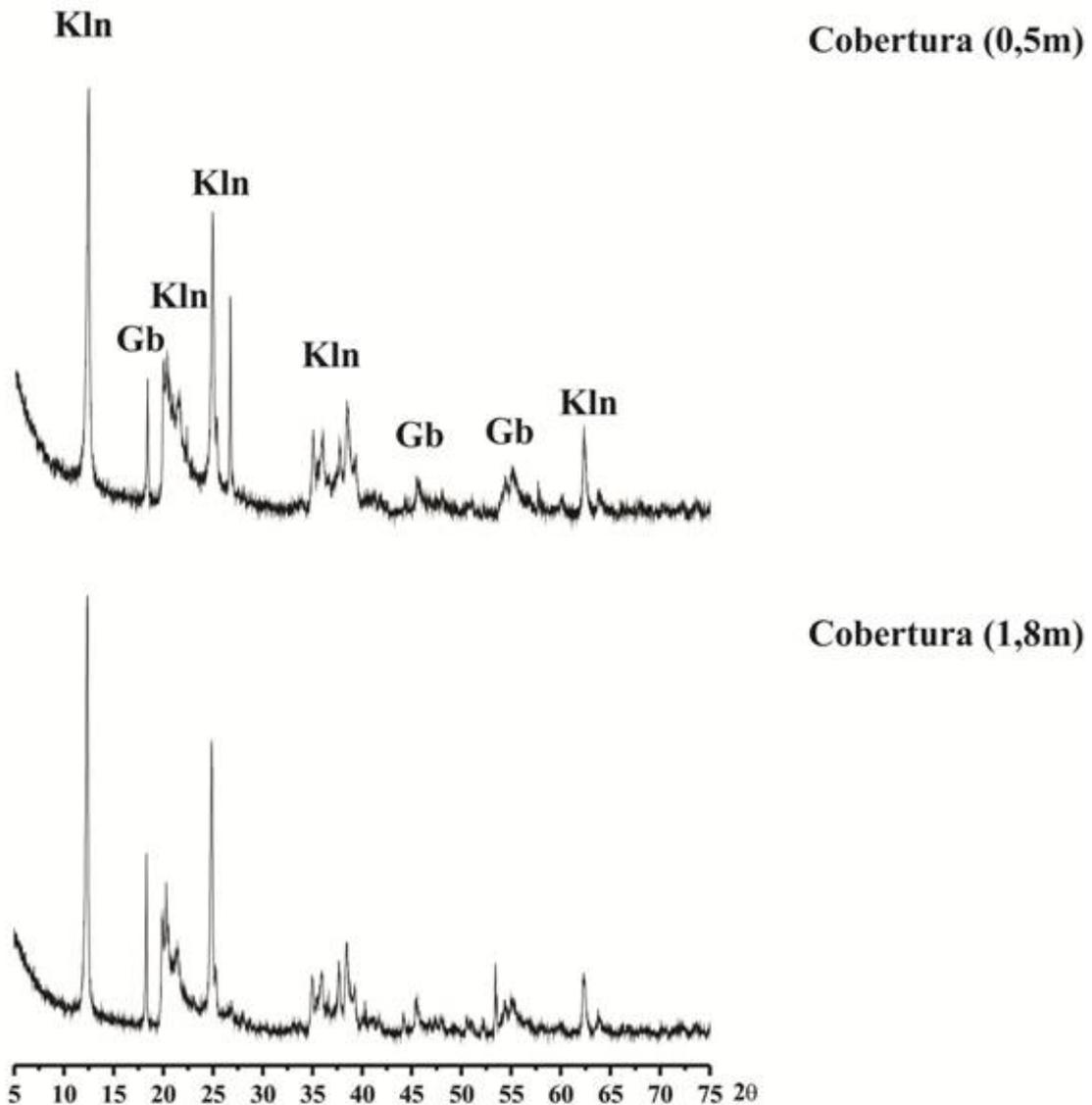


Figura 10 – Minerais identificados por difração de raios-X na cobertura argilosa do perfil laterítico da PA-256: Gb – gibbsita e Kln – caulinita.

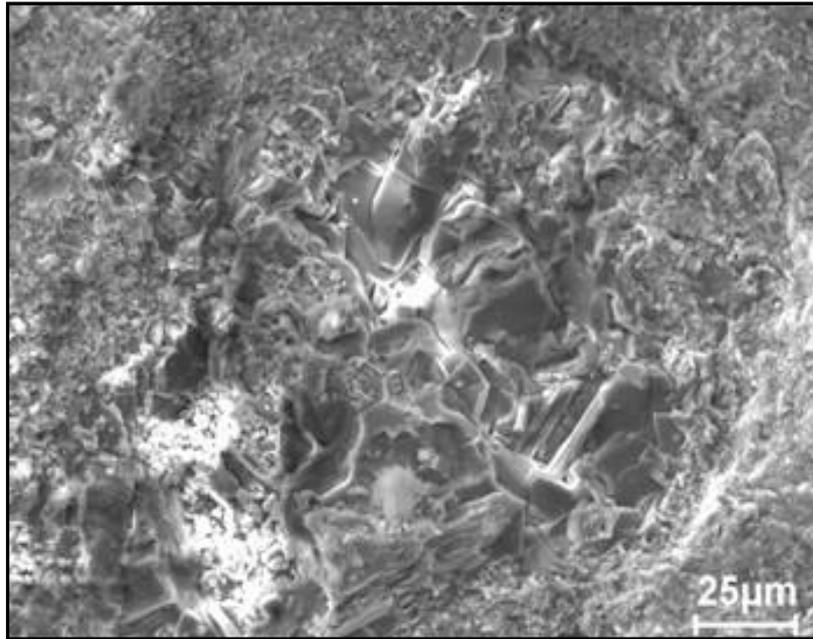


Figura 11 – Cristais de gibbsita (contato retilíneo) envolvidos pela matriz de caulinita. Imagem de MEV.

4.2 PERFIL LATERÍTICO DO PLATÔ JABUTI

O perfil laterítico bauxítico platô Jabuti (Figura 12 e 13) permite identificar 4 horizontes distintos, de certa forma correlacionáveis com o perfil do Km 17 da PA-256: horizonte saprolítico (A) na base, seguido pelo horizonte bauxítico (B), crosta nodular (C) e, por fim, a cobertura argilosa (D), a mesma Argila de Belterra. Ele diverge do perfil laterítico da PA-256 apenas ausência do horizonte mosqueado na PA-256.



Figura 12 – Imagem do perfil laterítico do platô Jabuti ressaltando os principais horizontes identificados: horizonte saprolítico (A), horizonte bauxítico (B), crosta ferro-aluminosa (C) e cobertura argilosa (D).

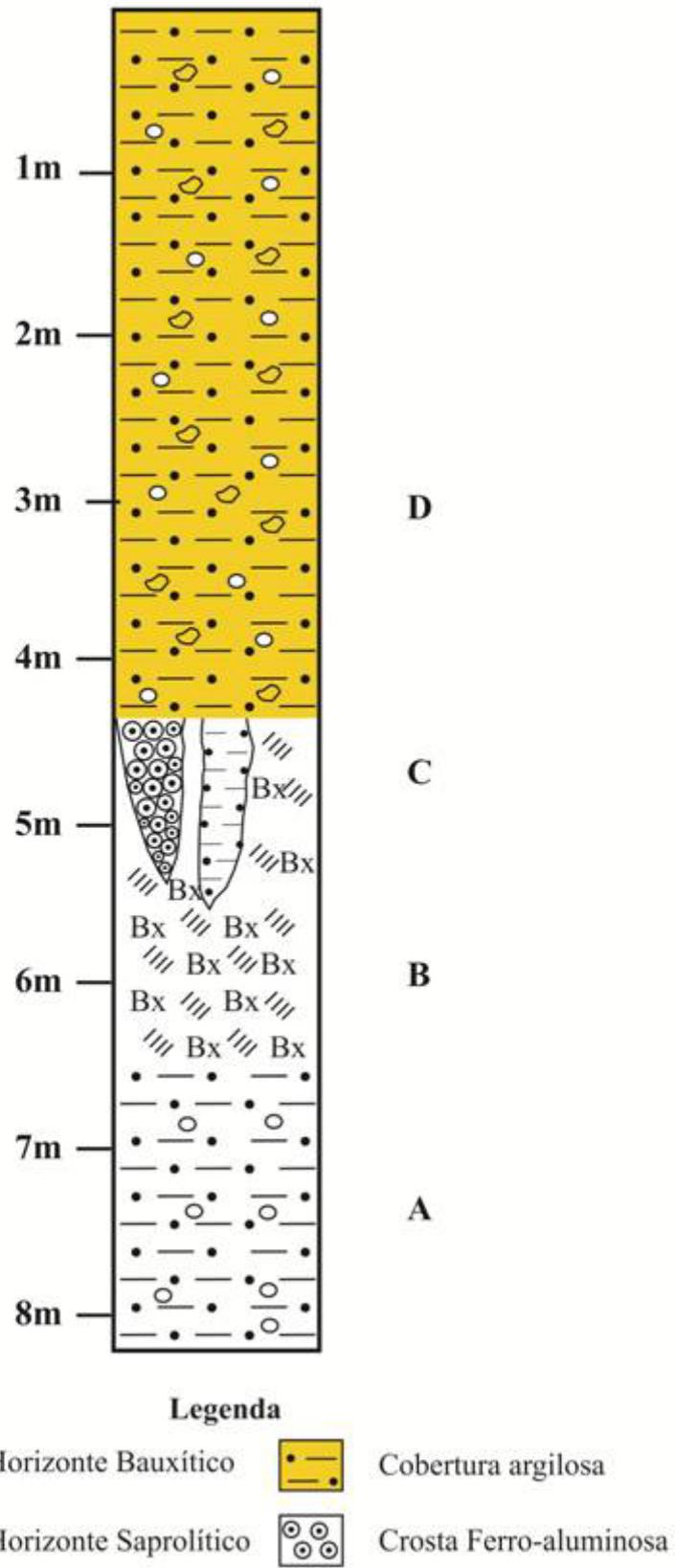


Figura 13 – Perfil laterítico do Jabuti com principais horizontes identificados: horizonte saprolítico (A), horizonte bauxítico (B), crosta ferro-aluminosa (C) e cobertura argilosa (D).

4.2.1 Horizonte Saprolítico

O horizonte saprolítico com no mínimo 1,5 m de espessura grada para o horizonte bauxítico acima. É silto-argiloso, de cores variegadas, provavelmente derivadas de pretérito horizonte mosqueado, com predomínio da coloração esbranquiçada, com algumas porções amarelada, rosada e avermelhada. Em algumas porções deste horizonte se podem observar resquícios da estrutura da rocha-mãe retratada pelas laminações incipientes (Figura 14). Nódulos de tamanho até 4 cm, de formas radiculares com núcleos de coloração avermelhada, formados possivelmente de hematita, estão envoltos por material silto-argiloso. Este horizonte é formado essencialmente de gibbsita e caulinita.



Figura 14 – Imagem do horizonte saprolítico com pequenas laminações incipientes.

Foto: Marcondes Lima da Costa.

4.2.2 Horizonte Bauxítico

O horizonte bauxítico com até 1,8 m de espessura, grada para a crosta, há uma passagem direta e abrupta do horizonte bauxítico para a cobertura argilosa (Figura 15). A bauxita em algumas partes é cortada por um material argiloso de composição caulínica de estrutura colunar (Figura 16). Esta feição colunar neste horizonte do Platô Jabuti e no perfil laterítico da PA-256 provavelmente foi originada pela atividade perfurativa de raízes de árvores do passado que atingiram os perfis (Costa, 1991 e Kotschoubey et al. 2005b).



Figura 15 – Imagem do contato do brusco do horizonte bauxítico (A) e a cobertura argilosa (B) no perfil laterítico do Jabuti.

Foto: Marcondes Lima da Costa.



Figura 16 – Imagem da bauxita cortada por estruturas colunares de composição caulínica gerada pela ação perforativa das raízes no perfil laterítico do Jabuti.

A bauxita apresenta um aspecto maciço, de cor lilás com notação de 10 P 4/10, conforme Munsell (1975), textura fina, cavernosa, com plasma de goethita infiltrando na massa lilás, além de material rosado preenchendo as cavidades (Figura 17). Esta bauxita é formada por gibbsita e caulinita (Figura 18). Neste horizonte é percebida a individualização de nódulos vermelho às vezes circundado pelo plasma de goethita. Algumas partes ocorrem uma coloração esbranquiçada provavelmente produto da alteração de gibbsita para caulinita.

Ao microscópio óptico observa-se a ocorrência de uma matriz microcristalina a criptocristalina sendo impregnados por oxi-hidróxidos de ferro. Outra feição descrita é a ocorrência de um plasma marrom de aspecto nodular que às vezes assemelha-se a uma textura do tipo brechóide (Figura 19), tal textura pode representar o estágio inicial de formação de pisólitos (Truckenbrodt *et al*, 1995). Cutãs goethíticos fibrorradiais podem ser observados associado com um plasma verde (Figura 20). Os poros e fissuras têm forma irregular (predominante), arredondada e alongada, certas vezes, dá um aspecto vermicular, que são preenchidos por gibbsita na forma de mosaico com maclamento polissintético, tal preenchimento pode ser de forma parcial ou total (Figuras 21 e 22). O quartzo, raramente, pode estar presente em alguns poros, e algumas dessas cavidades podem conter ou não

gibbsita na borda dos cristais de quartzo irregulares, corroídos e fraturados (Figura 23). Esta feição sugere um processo de substituição do quartzo pela gibbsita (Truckenbrodt & Kotschoubey, 1982). Observam-se também nódulos com núcleo opaco e córtex avermelhado.

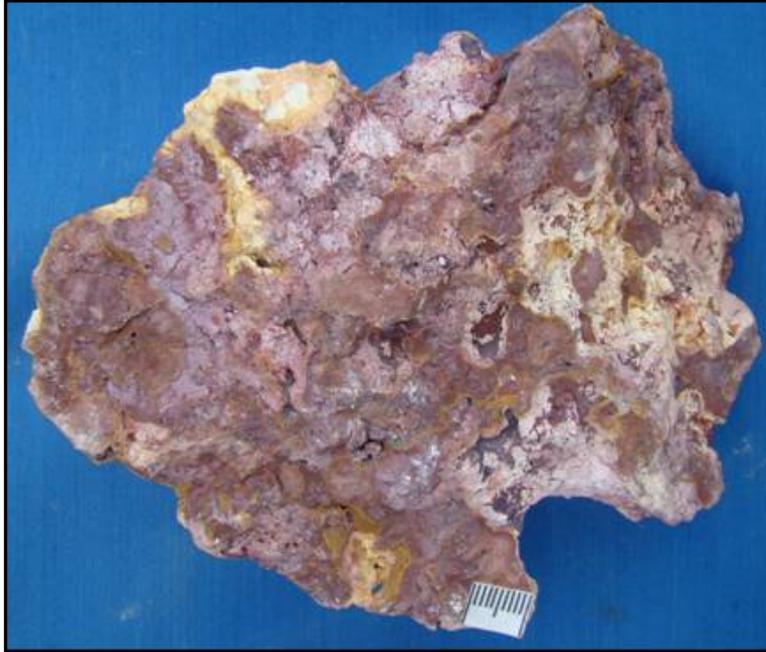


Figura 17 – Bauxita microcristalina de coloração lilás (predominante) e rosada com algumas porções brancas, de aspecto maciço a cavernoso, provavelmente, de composição caulínica e plasma goethítico amarronzados infiltrando.

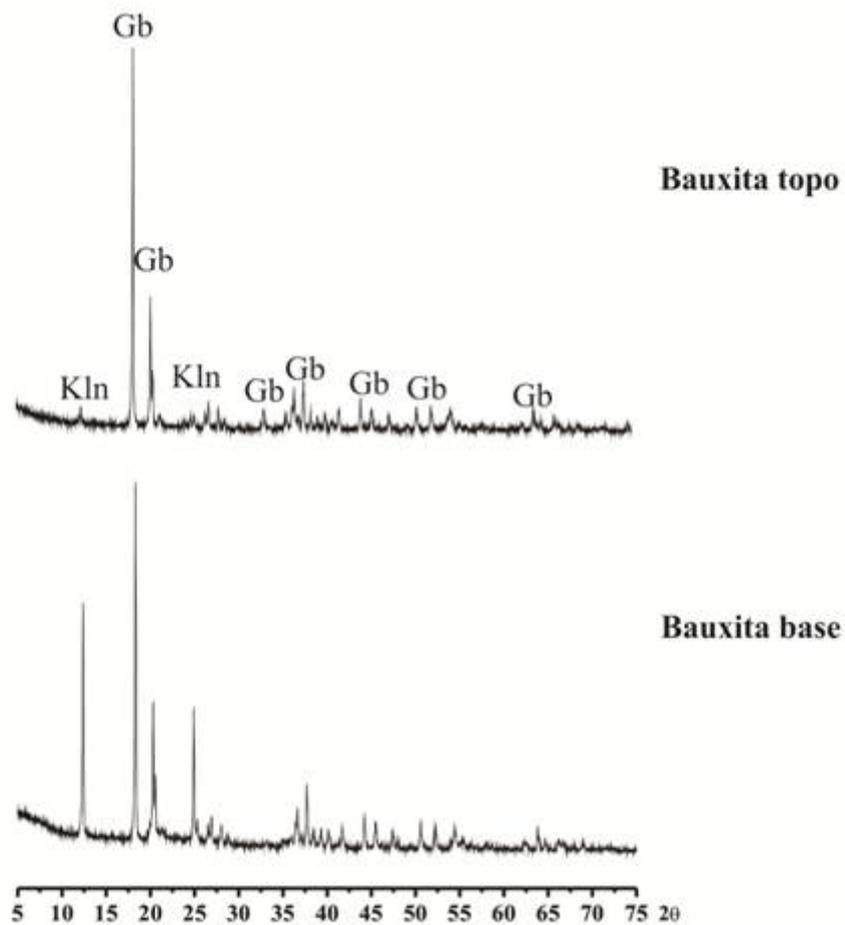


Figura 18 – Minerais identificados por DRX na bauxita do platô Jabuti: Gb – Gibbsita e Kln – caulinita.

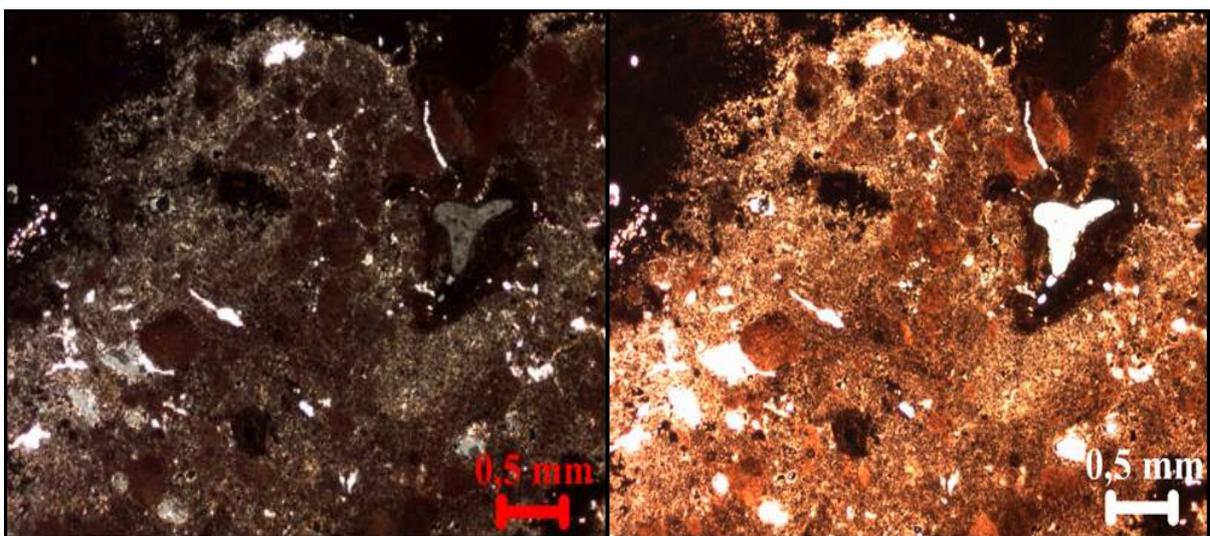


Figura 19 – Fotomicrografia mostrando plasma de aspecto nodular lhe conferindo uma textura brechóide imerso em matriz aluminosa criptocristalina. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.

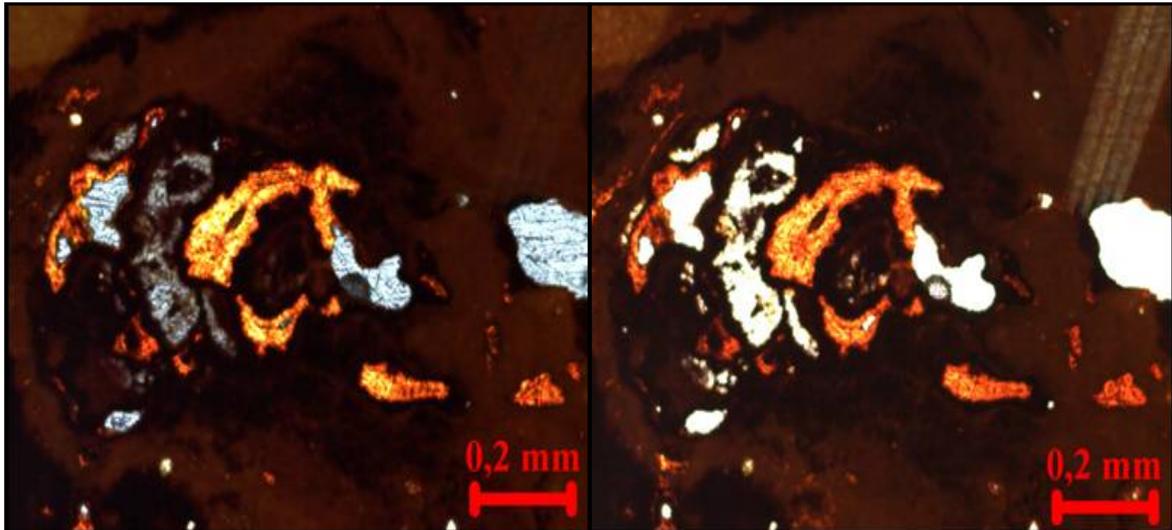


Figura 20 – Fotomicrografia mostrando cutãs goethíticos fibrorradiais preenchendo vazios no plasma esverdeado. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.

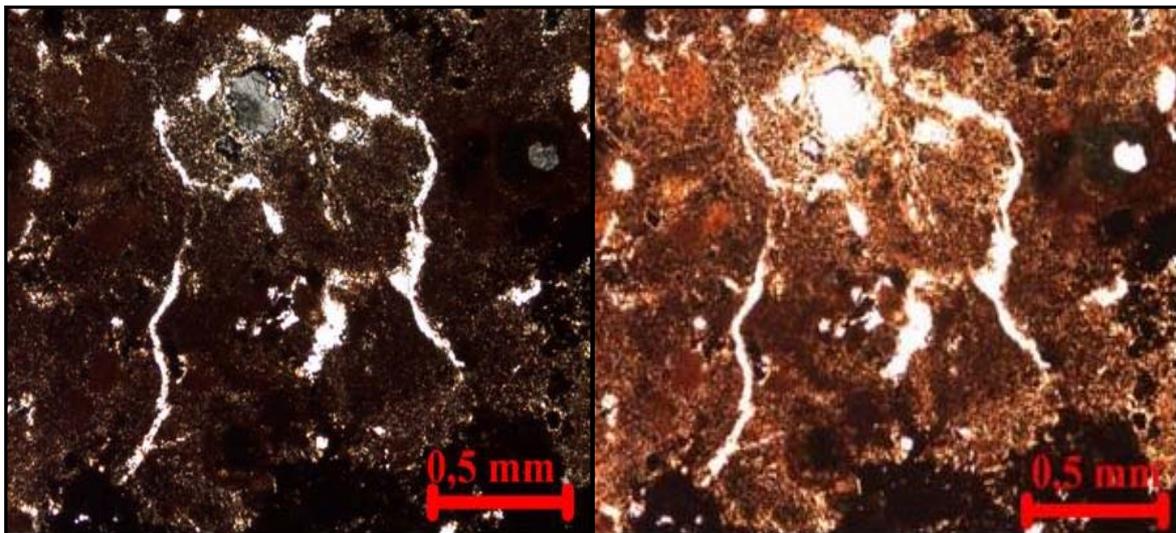


Figura 21 – Fotomicrografia enaltecendo cavidades irregulares preenchidas por gibbsita. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.

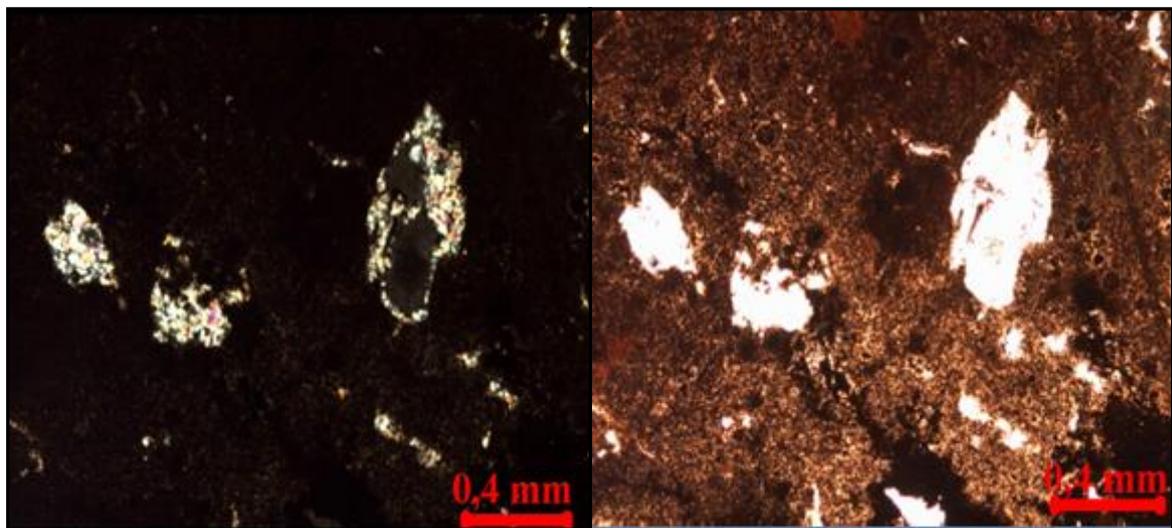


Figura 22 – Fotomicrografia ilustrando poros subsféricos preenchidos de forma parcial ou total pela gibbsita. Nicóis cruzados na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.

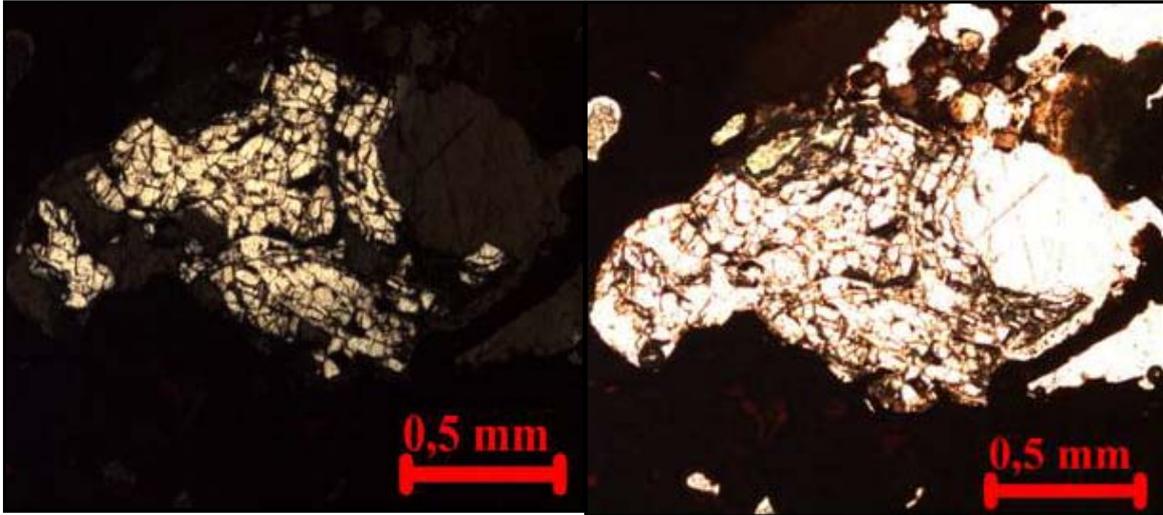


Figura 23 – Fotomicrografia ilustrando agregados irregulares de cristais de quartzo, fraturados e corroídos no interior das cavidades. Nicóis cruzados na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.

4.2.3 Crosta Ferro-aluminosa

A crosta com espessura em torno de 0,9m está em contato abrupto com a cobertura argilosa. É nitidamente colunar, em que suas colunas são revestidas por um filme de oxi-hidróxidos de ferro, com aspecto de superfície envernizada (Figura 24). A crosta é composta de gibbsita e hematita (figura 25). Internamente apresenta localmente aspecto brechóide tipo pele de onça (Figura 26). As cavidades entre as colunas, que são tubulares são preenchidas por argila composta de caulinita e gibbsita. Além disso, contêm fragmentos da crosta e de bauxita bem como raros grãos de quartzo. Estas estruturas colunares são formadas pela perfuração de raízes. A crosta ferro-aluminosa pode ser correlacionada com o horizonte concrecionário do perfil laterítico da PA-256, conforme Tardy (1993) e Horbe & Costa (1999).

Ao microscópio óptico observam-se nódulos com ou sem uma auréola de alteração de coloração amarronzada que lembra um córtex goethítico (Figura 27) imerso em uma matriz que localmente observam-se estruturas em box-work, provavelmente, geradas pelo preenchimento de fraturas e fissuras por oxi-hidróxidos de ferro (Kotschoubey et al 1996).

Na base da crosta com auxílio do microscópio óptico foi identificada a ocorrência de uma alternância de um plasma vermelho e preto e que dá um aspecto vermicular e uma textura do tipo colofome (Figura 28). Por vezes este mesmo plasma juntando a coloração

castanha e vermelha pode conferir um aspecto brechado (Figura 29). Uma estrutura importante não muito frequente seria a alternância de pequenas faixas de plasma amarelo e verde que pouco frequentemente delinea alguns nódulos. Nas partes superiores os nódulos são digeridos pela matriz (Figura 30).

A gibbsita se apresenta na forma de pequenas fissuras curvadas e, muitas vezes, ramificadas de forma irregulares. Por vezes a gibbsita pode preencher as cavidades dos moldes dos grãos de quartzo dissolvidos conferindo uma textura em células (Figura 31) que algumas vezes se encontra associado com o plasma de aspecto brechado. Embora, sem muita frequência a gibbsita ocorre com alguns cristais com uma orientação perpendicular às paredes dos poros, formando uma franja de largura de até 1 mm (Figura 32).



Figura 24 – Crosta ferro-aluminosa de estrutura colunar com cavidades preenchidas principalmente por argila do tipo caulinita.

Foto: Marcondes Lima da Costa.

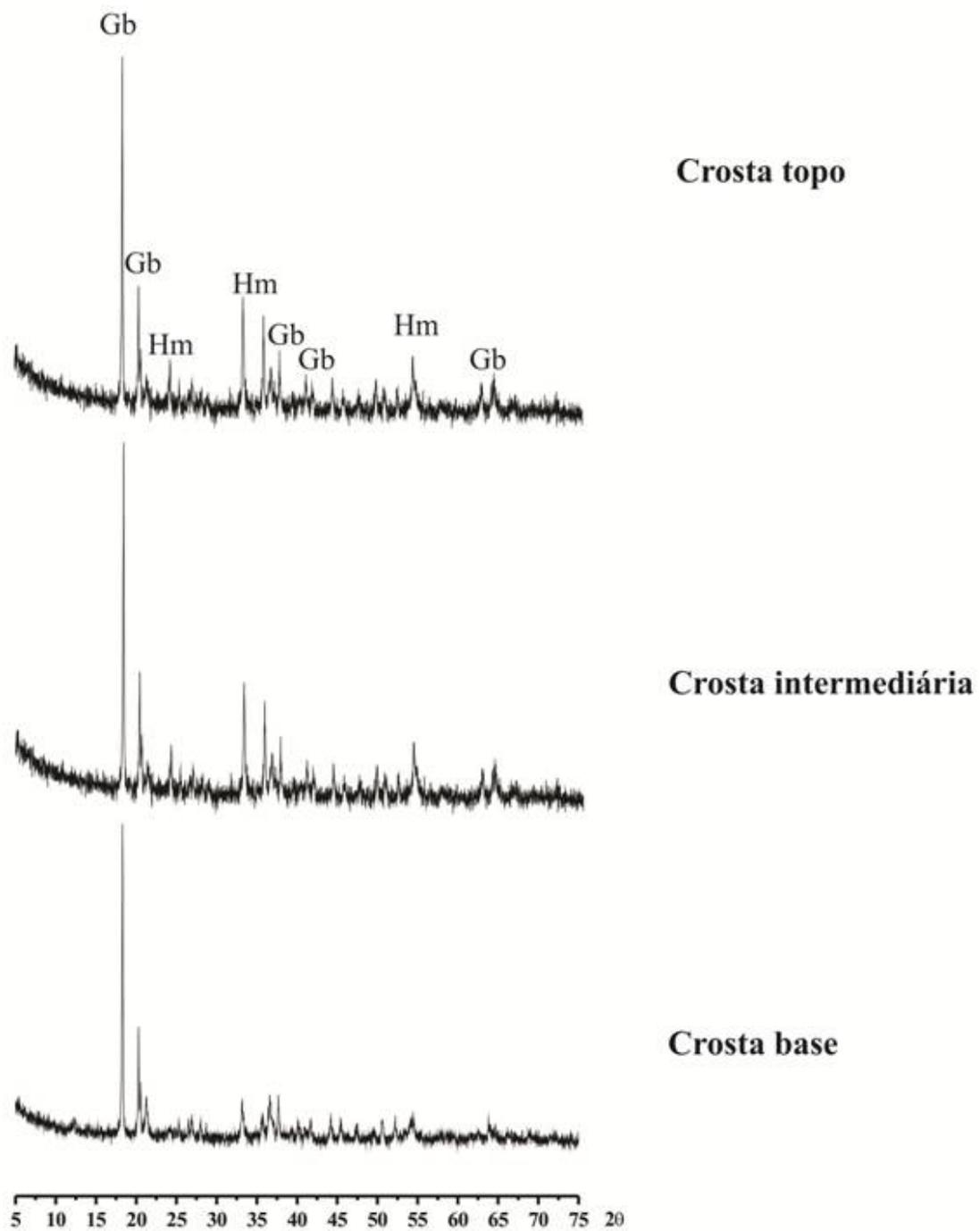


Figura 25 – Minerais identificados por DRX na crosta ferro-aluminosa do platô Jabuti: Gb – gibbsita e Hm - hematita.



Figura 26 – Detalhe da crosta ferro-aluminosa de textura brechóide em aspecto de pele de onça.

Foto: Marcondes Lima da Costa.

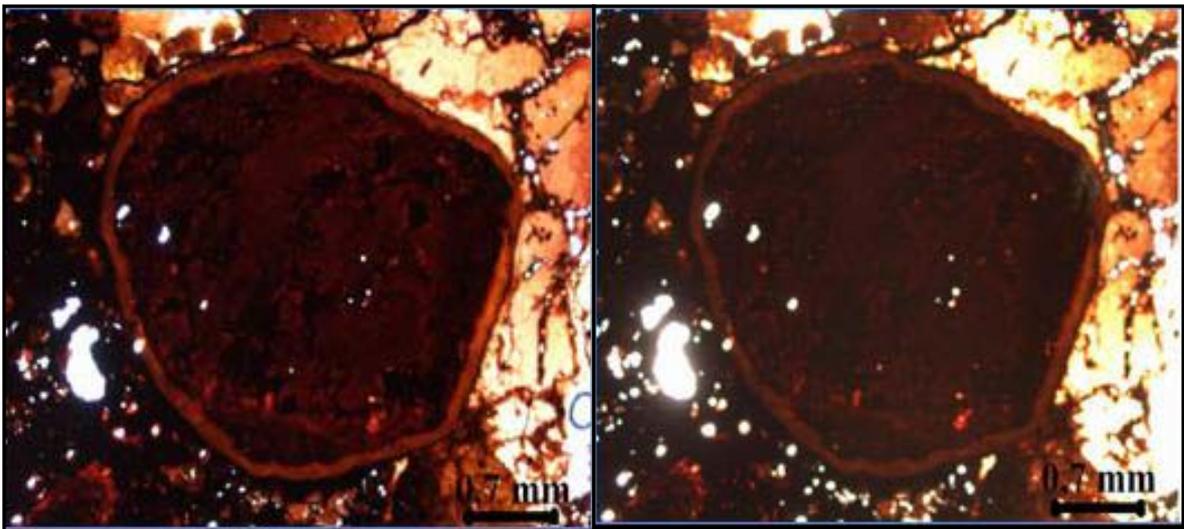


Figura 27 – Fotomicrografia de nódulos com uma auréola de alteração que lembra um córtex goethítico imerso em matriz aluminosa. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.

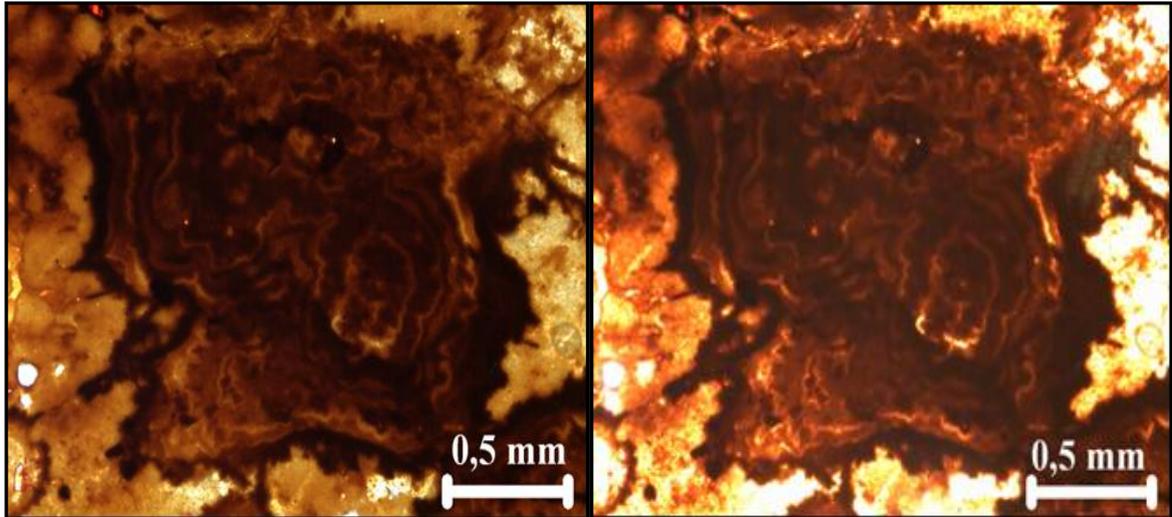


Figura 28 – Fotomicrografia da alternância de plasma de cor vermelha e preta gerando uma textura do tipo colofome. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.

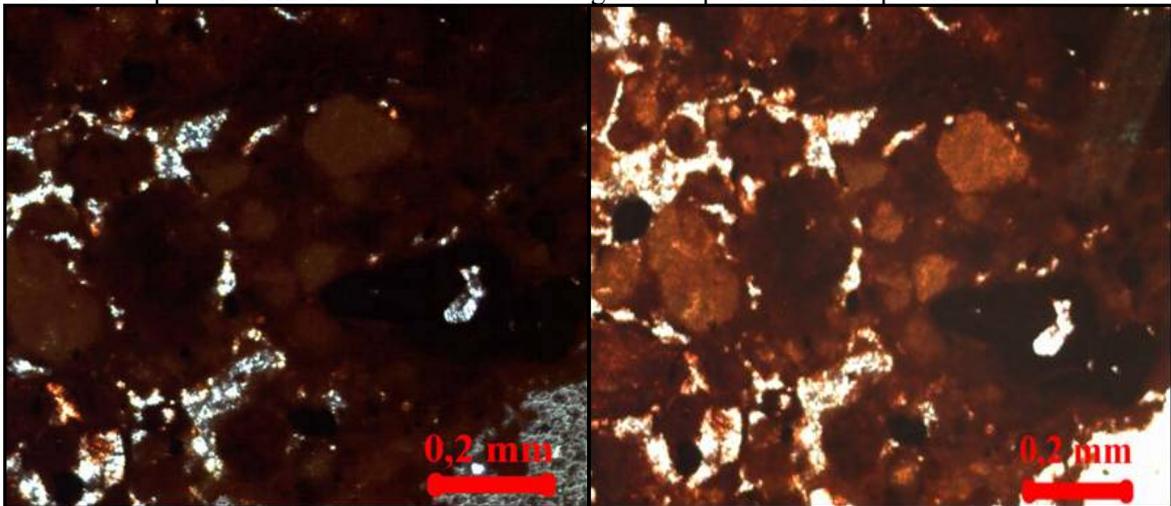


Figura 29 – Fotomicrografia de intraplasma de coloração verde e marrom gerando um aspecto brechado. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.

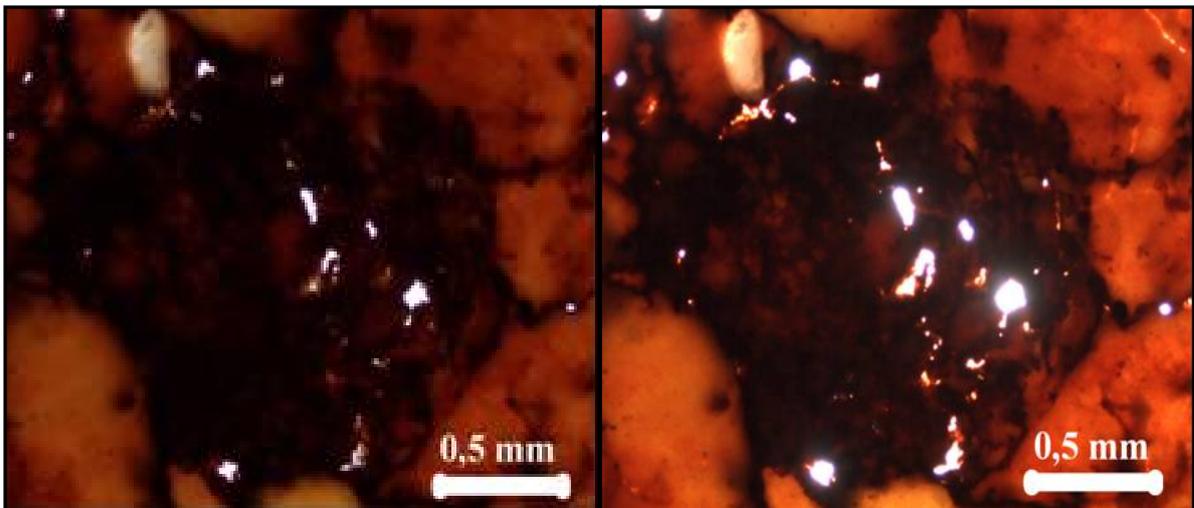


Figura 30 - Fotomicrografia de nódulo do tipo intraplasma digerido pela matriz. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.

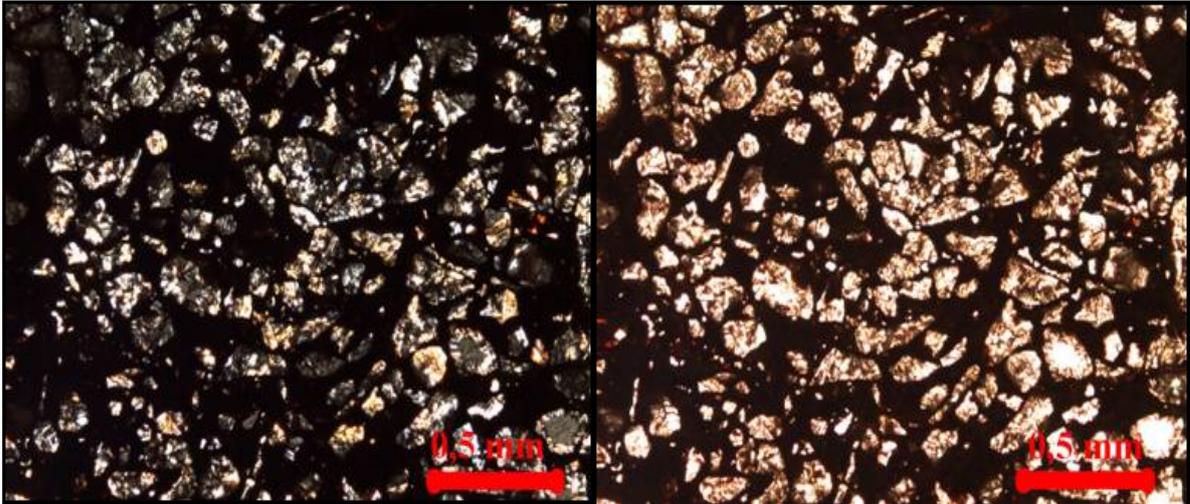


Figura 31 - Fotomicrografia da textura celular com os poros de dissolução de grãos de quartzo preenchidos por gibbsita exibindo um maclamento polissintético. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.

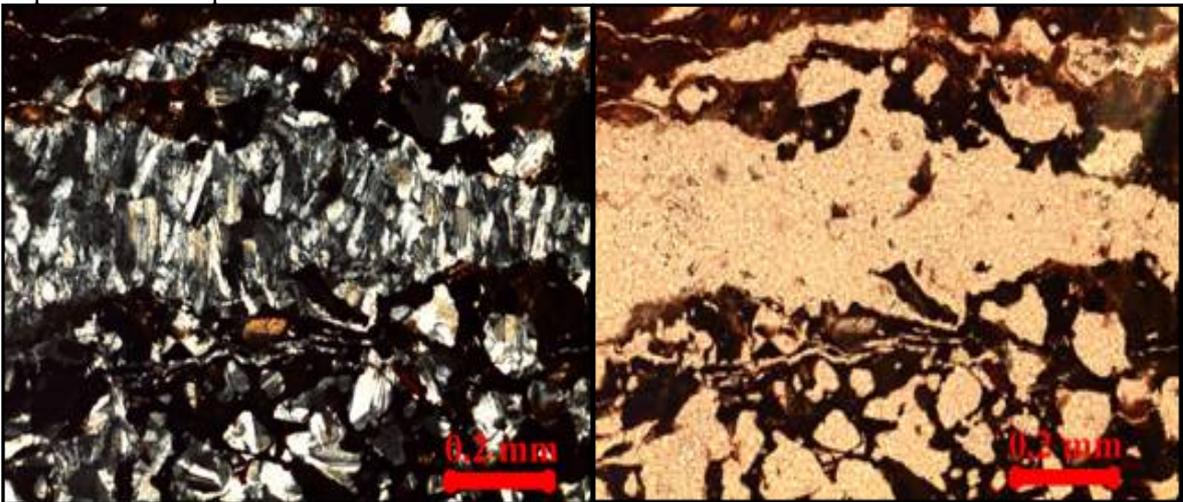


Figura 32 – Fotomicrografia de gibbsita preenchendo a fratura de forma perpendicular a parede da cavidade. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.

4.2.4 Cobertura Argilosa

A cobertura argilosa com 4,5 m de espessura pode ser correlacionada com latossolo marrom-amarelado de notação 10 YR 4/3 (Munsell, 1975), homogêneo, de consistência terrosa, contendo nódulos e fragmentos da crosta e bauxita de aspecto porcelanado de tamanho entre 0,1 mm a 2 cm, sem estruturação visível e microagregado, de forma similar ao perfil da PA-256 km 17. Constitui-se também apenas de caulinita e gibbsita, com quartzo subordinada e traços de anatásio.

Os nódulos têm tamanho até 6 cm de comprimento e possuem forma irregular alongada. Este material é composta de uma matriz criptocristalina de composição sílica-

aluminosa impregnados por óxi-hidróxidos de ferro. Nesta matriz é observada em microscópio óptico a ocorrência de gibbsita de cristais subédricos de contato reto que exibe um maclamento polissintético e às vezes maclamento concêntrico (Figura 34), além da ocorrência de grãos de quartzo fraturados e corroídos.

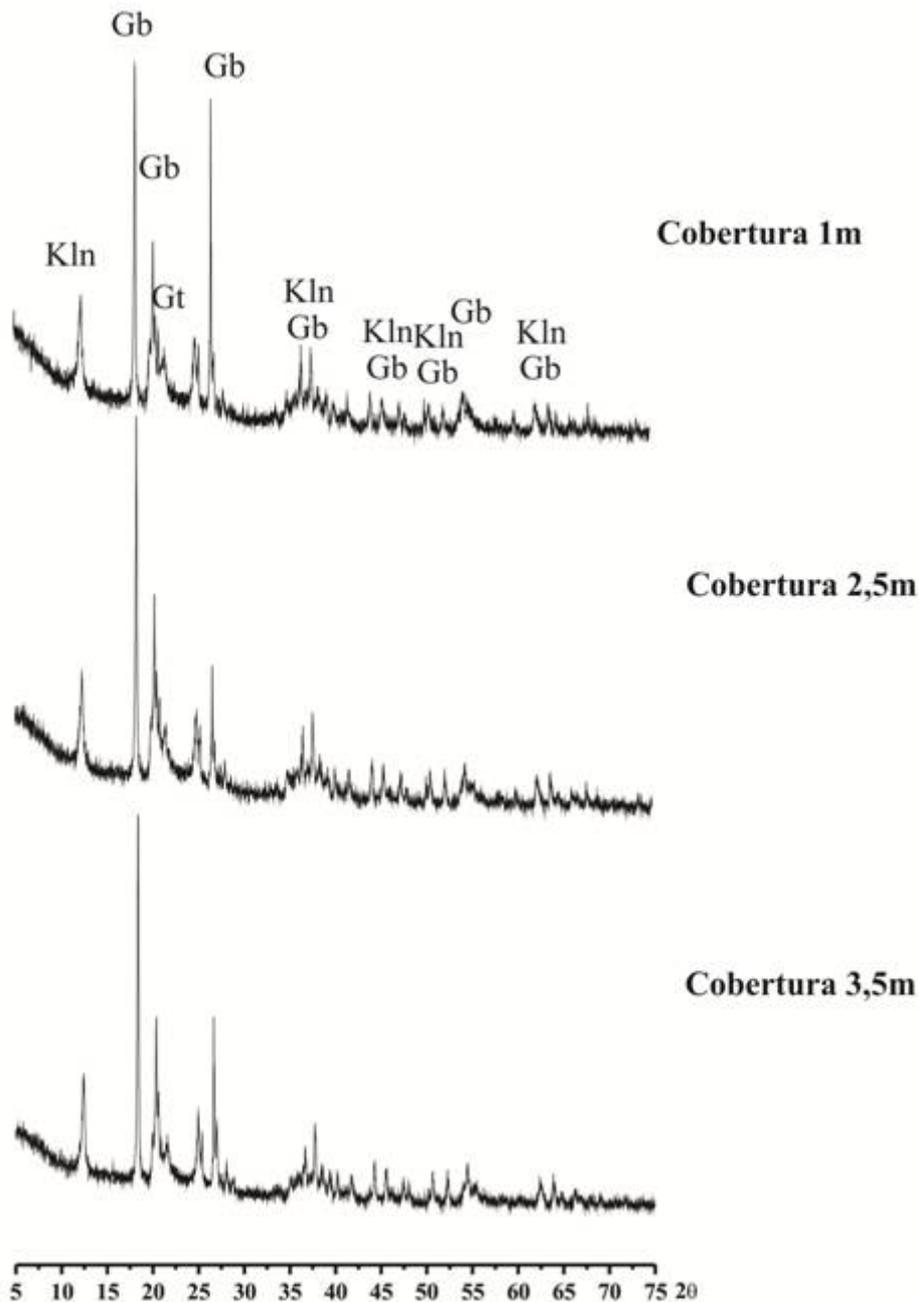


Figura 33 – Minerais identificados por DRX na cobertura argilosa do perfil laterítico do platô Jabuti: Kln- caulinita, Gb – gibbsita e Gt – goethita.

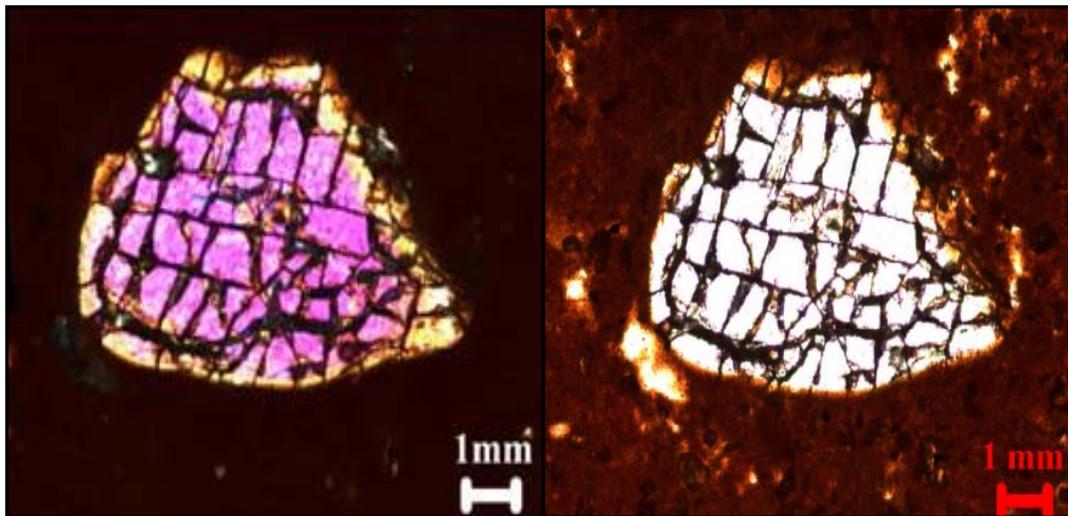


Figura 34 – Fotomicrografia de cristais de gibbsita subédrico com contato reto exibindo o maclamento concêntrico. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.

4.3 PERFIL LATERÍTICO DE JURUTI

No perfil laterítico de Juruti foi possível distinguir os seguintes horizontes (Figuras 35 e 36), uma topossequência correlacionável com o perfil laterítico da PA-256: horizonte mosqueado na base, horizonte bauxítico, crosta, horizonte nodular ferruginoso, horizonte bauxítico nodular e, por fim, a cobertura argilosa, a mesma Argila de Belterra. Os horizontes nodulares ferruginosos e bauxíticos de Juruti são correlacionáveis com o horizonte concrecionário do perfil laterítico da PA-256 e com a crosta ferro-aluminosa do perfil laterítico do platô Jabuti (Tardy 1993, Horbe 1995 e Horbe & Costa 1999).

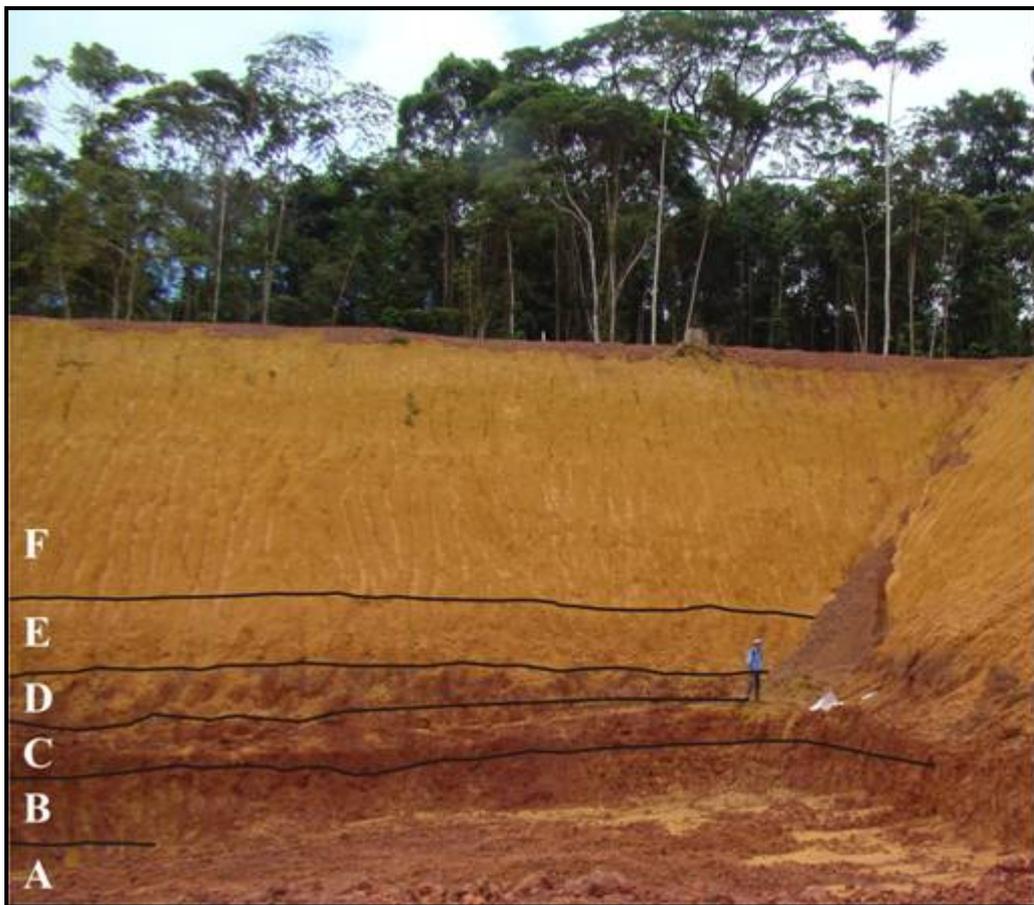


Figura 35 – Imagem do perfil laterítico de Juruti ressaltando os horizontes identificados: horizonte mosqueado (A), horizonte bauxítico (B), crosta ferruginosa (C), horizonte nodular ferruginoso (D), horizonte nodular bauxítico (E) e a cobertura argilosa (F).

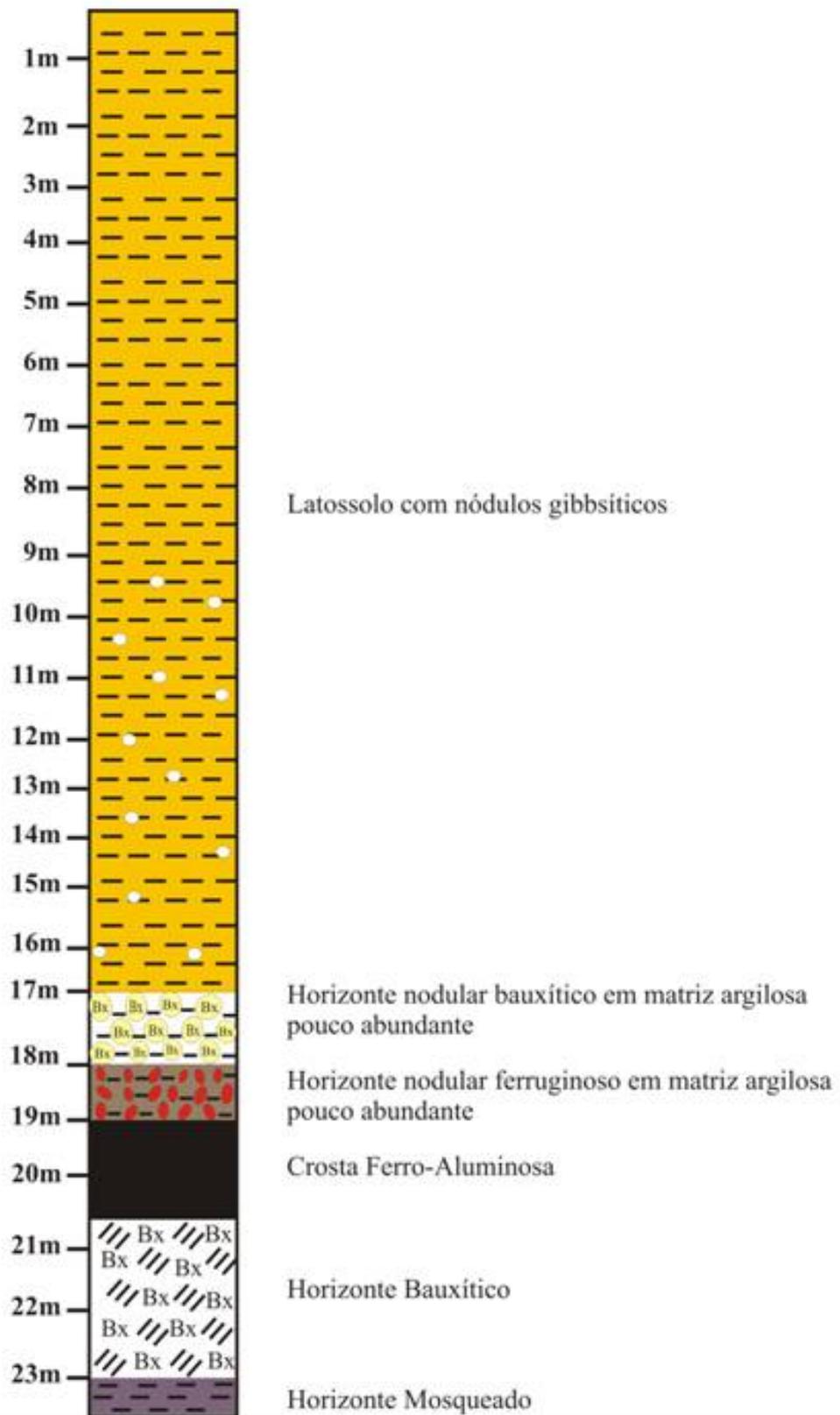


Figura 36 – Perfil laterítico da Mina de Juruti com os horizontes identificados: horizonte mosqueado, horizonte bauxítico, crosta ferruginosa, horizonte nodular ferruginoso, horizonte nodular bauxítico e a cobertura argilosa.

4.3.1 Horizonte Mosqueado

O horizonte mosqueado possui uma espessura de 0,5 m, apresenta uma passagem gradativa para o horizonte bauxítico acima. Trata-se de um material silte-argiloso, de cores variegadas que predomina a coloração lilás, com algumas porções esbranquiçada, amarelada, rosada e avermelhada. Este é um horizonte formado de gibbsita, caulinita e hematita (Figura 37).

Este horizonte afloram nódulos de tamanho até 4 cm, de forma alongada que às vezes lembra uma forma colunar, de coloração rosada com núcleos de coloração vermelha, aspecto cavernoso e poroso. Trata-se essencialmente de gibbsita e hematita. Os nódulos são revestidos pelo mesmo material silte-argiloso deste horizonte.

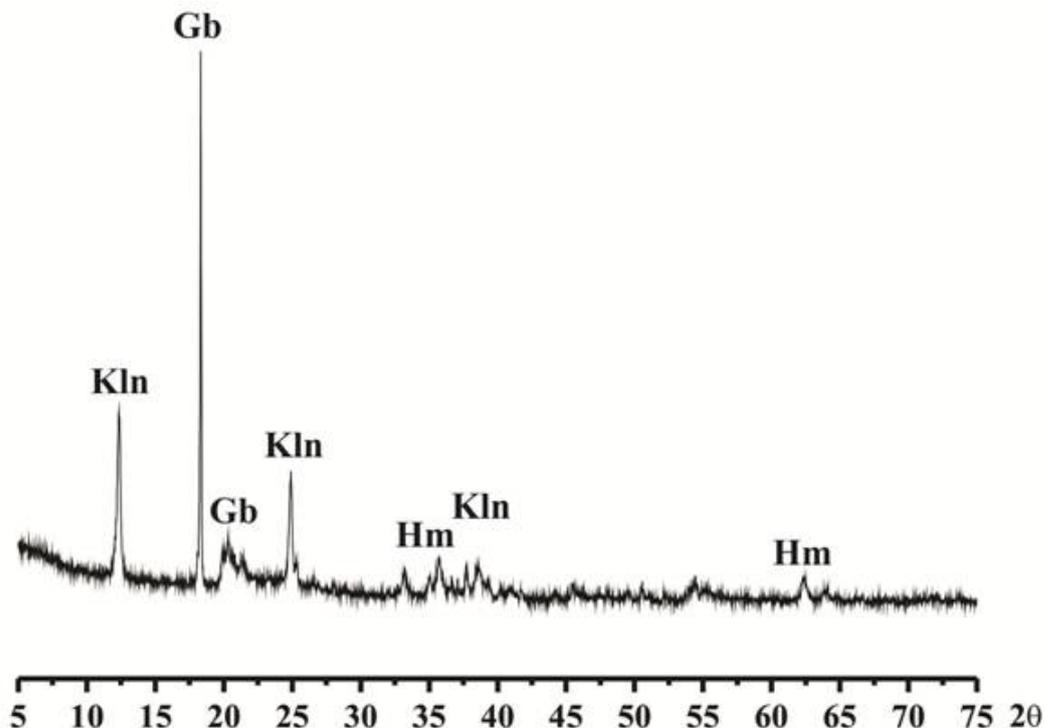


Figura 37 – Minerais identificados por DRX no horizonte mosqueado do perfil laterítico de Juruti: Gb – gibbsita, Kln – caulinita e Hm – hematita.

4.3.2 Horizonte Bauxítico

O horizonte bauxítico ocorre com uma espessura em média de 1,5 m, apresenta uma passagem gradativa para a crosta ferro-aluminosa. A bauxita tem uma variação de coloração de rosa clara e um marrom vermelho com algumas porções de cores esverdeadas e

amareladas, bem endurecida, aspecto cavernoso, poroso e com pouca frequência pode apresentar uma forma colunar.

Este horizonte pode ser dividido em duas fácies: fácies sacaroidal e fácies ferruginosa que serão descritas abaixo.

A fácies sacaroidal é formada por gibbsita de cristais subédricos, contato reto e maclamento polissintético típico e, por vezes, zoneamento concêntrico. Os cristais apresentam geralmente um arranjo na forma de mosaico que na parte entre os cristais pode ser revestido de forma parcial ou total por um cimento ferruginoso (Figura 38). Nesta fácies ainda ocorre resquícios de grãos de quartzo fraturado e corroídos que algumas vezes na suas bordas podem ocorrer cristais de gibbsita (Figura 39).

A fácies ferruginosa é desenvolvida a partir de plasma esverdeado, formando numerosos corpos de forma arredondada a angular. A fácies ferruginosa é formada essencialmente por gibbsita, hematita e em menores proporções por caulinita e goethita. As cavidades exibem formas irregulares angulares e, às vezes, arredondada com porções internas formadas por material ferruginoso. Estas cavidades são de formas pseudomórficas geradas a partir de grãos de quartzo ou de algumas fraturas da rocha-mãe (Lucas 1997, Boulangé & Carvalho 1997, Truckenbrodt & Kotschoubey, 1982). Tais cavidades são preenchidas de forma parcial ou total pela gibbsita. O centro das cavidades, geralmente, é ocupado por grãos de quartzo corroídos e fraturados, em cujas bordas, raramente são encontrados cristais de gibbsita. A associação do plasma ferruginoso de forma arredonda com a gibbsita de fácies ferruginosa pode gerar uma estrutura na forma de brecha (Figura 41).

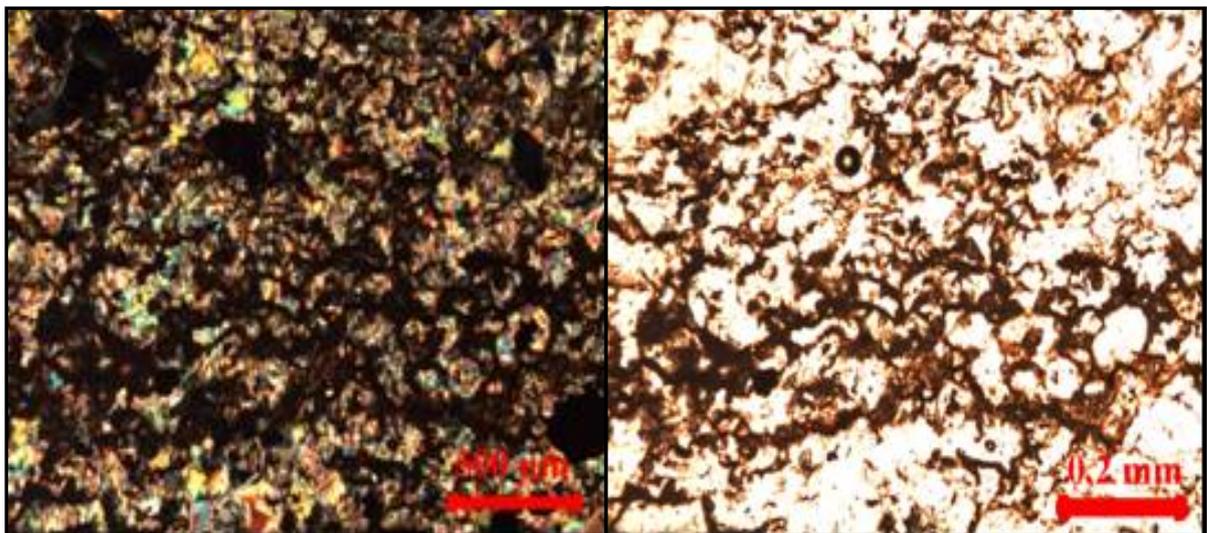


Figura 38 – Fotomicrografia de gibbsita com cimento ferruginoso em fácies sacaroidal. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.

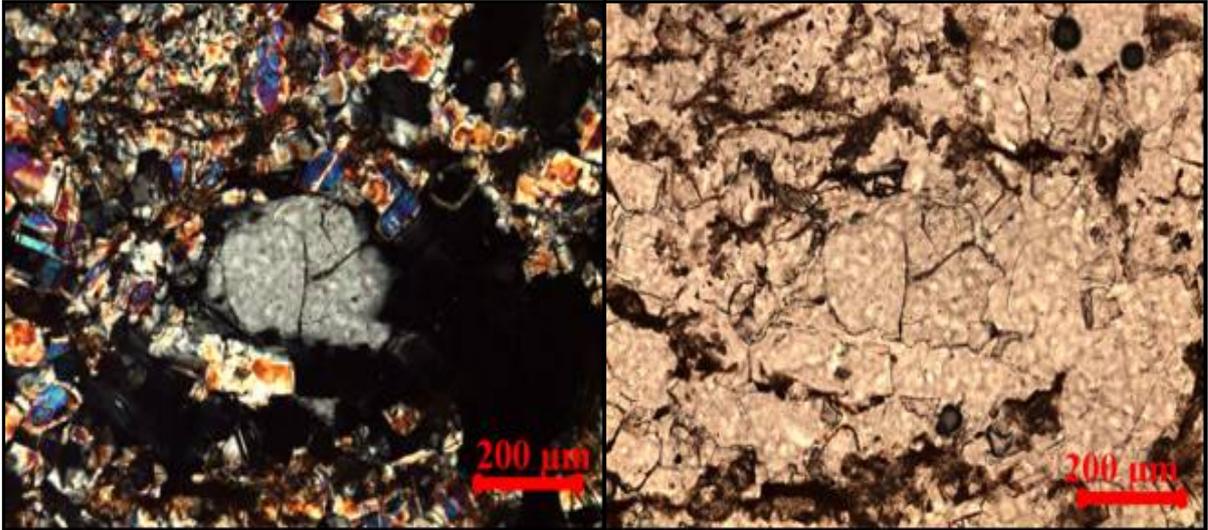


Figura 39 - Fotomicrografia de grãos de quartzo corroídos e fraturados na parte central das cavidades com ou sem cristais de gibbsita em fácies sacaroidal. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.

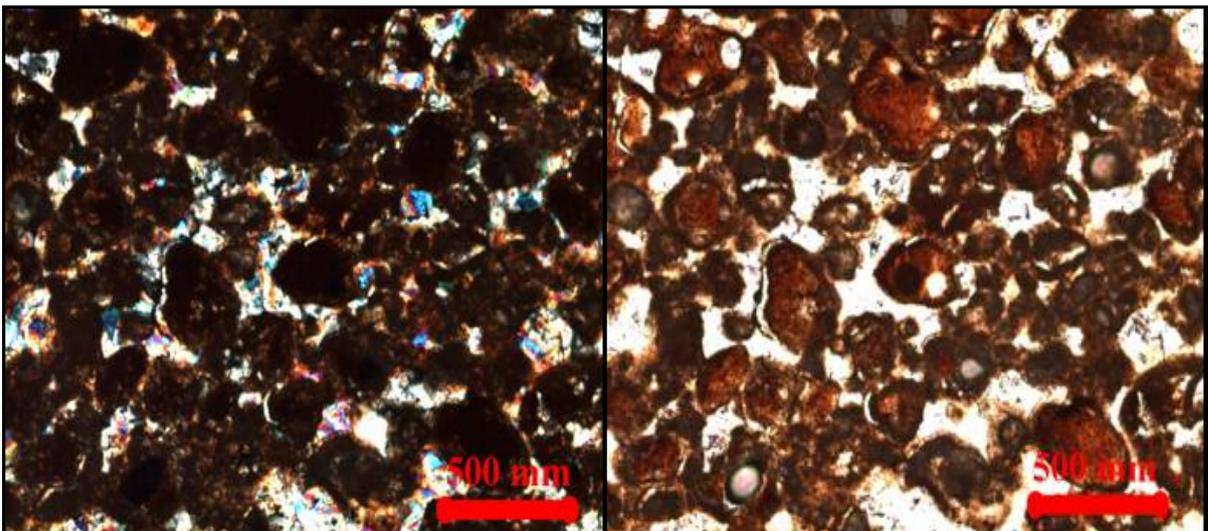


Figura 40 – Fotomicrografia de um intraplasma arredondado a subarredondado de fácies ferruginosa associada com gibbsita fácies sacaroidal gerando uma textura brechóide. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.

4.3.3 Crosta Ferruginosa

A crosta ferruginosa com uma espessura de 1,5 m apresenta uma passagem gradativa para o horizonte nodular ferruginoso. Este material exibe uma textura brechóide devido à presença de nódulos vermelhos, submilimétricos a milimétricos, angulosos a subarredondados, envolvidos em matriz de cor marrom rica em gibbsita (Figura 41). Esta

crosta é formada por gibbsita e hematita. Nas partes superiores alguns nódulos são digeridos pela matriz e acontece na forma de um padrão de zoneamento concêntrico. A estruturação concêntrica é devida a mobilização de ferro e condições locais de hidratação (Kotschoubey *et al.* 2005).

As cavidades da crosta apresentam formas predominantemente arredondadas e, certas vezes, de forma alongada. Estas cavidades são formas pseudomórficas dos grãos de quartzo, de fraturas ou fissuras da rocha-mãe (Truckenbrodt *et al.* 1995 e Boulangé & Carvalho 1997). Por vezes a gibbsita pode preencher de forma parcial ou total as cavidades dos grãos de quartzo conferindo uma textura na forma de células (Figura 41). Algumas cavidades das crostas são ocupadas na região central por grãos de quartzo corroídos e fraturados, em cujas bordas são encontrados cristais de gibbsita revestindo estes grãos. Outra estrutura descrita são os cutãs goethíticos fibrorradiais e perpendiculares as cavidades quando o quartzo não está nas cavidades (Figura 42).



Figura 41– Crosta ferro-aluminosa de nódulos arredondados a subarredondados ferruginosos imersos em uma matriz aluminosa exibindo um aspecto brechóide.

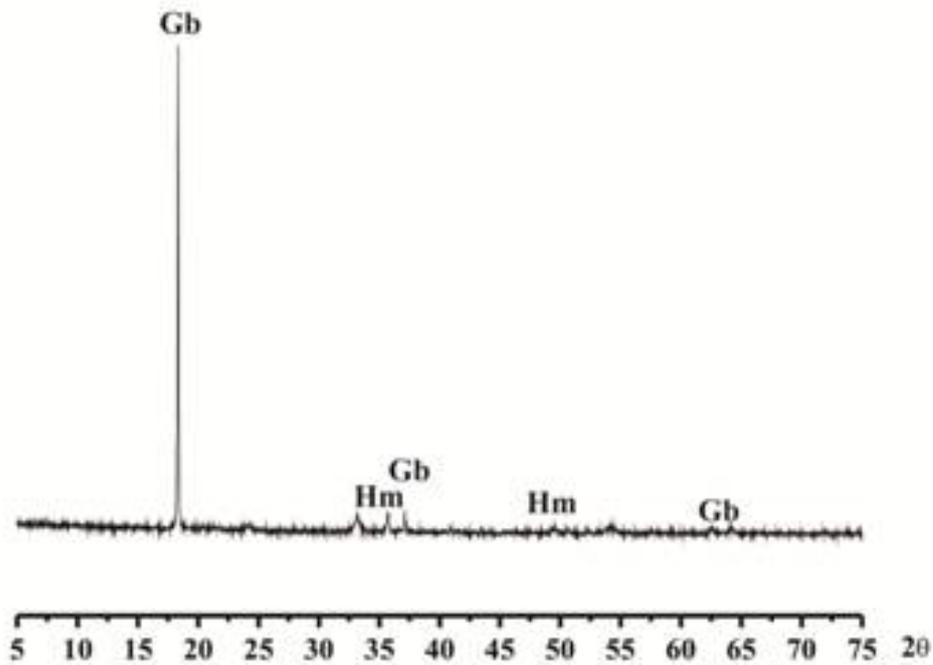


Figura 42 – Minerais identificados por DRX na crosta ferruginosa do perfil laterítico de Juruti: Gb – gibbsita e Hm – hematita.

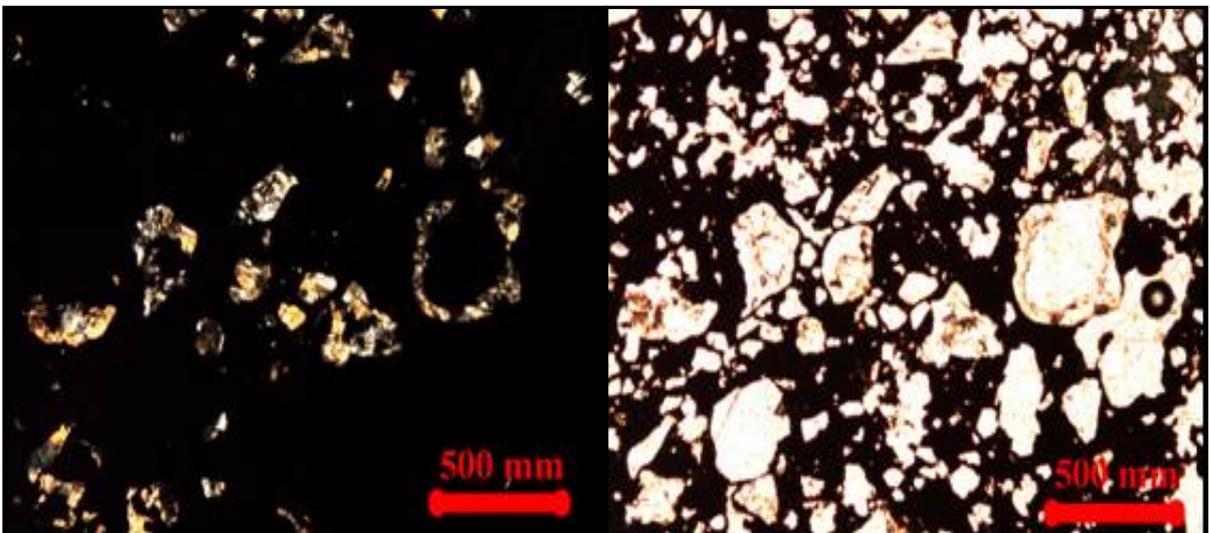


Figura 43 – Fotomicrografia de cristais de gibbsita preenchendo as cavidades de dissolução de forma parcial ou total associado com plasma ferruginoso gerando uma textura do tipo celular. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.

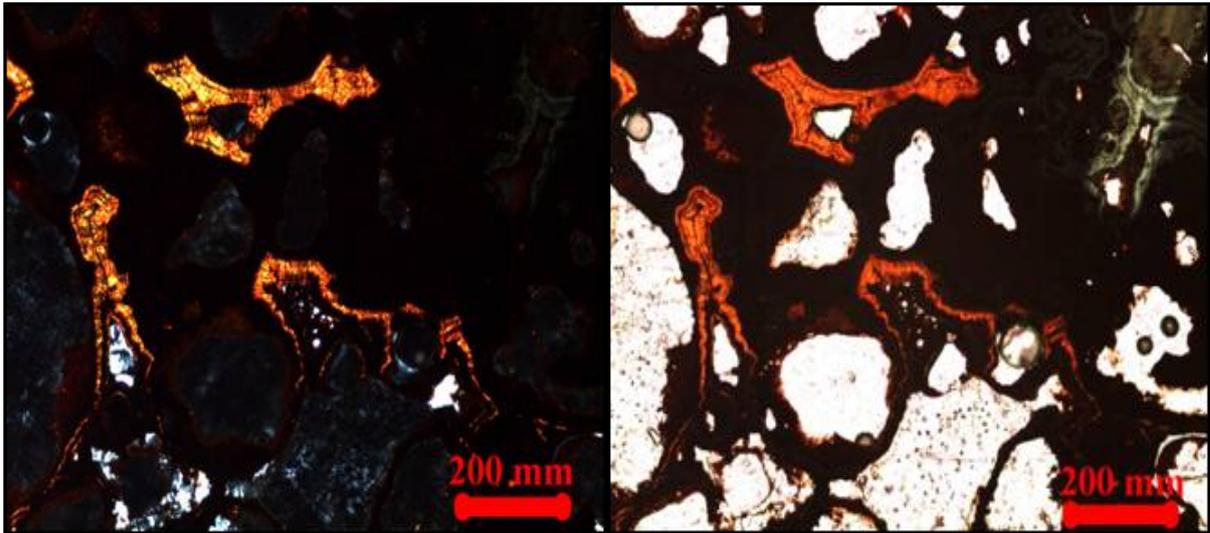


Figura 44 – Fotomicrografia de cutãs goethíticos preenchendo as cavidades de dissolução de forma perpendicular as cavidades da crosta. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.

4.3.4 Horizonte Nodular Ferruginoso

O horizonte nodular ferruginoso tem uma espessura em média de 1m, apresenta uma passagem gradativa para o horizonte nodular bauxítico e uma passagem brusca para a cobertura argilosa (Figura 45). Os nódulos apresentam formas arredondadas, algumas vezes, alongada verticalmente e irregular. Neste material é observada uma seleção gradativa, havendo na base nódulos de tamanho maiores de até 5cm, enquanto no topo o material é de menor tamanho. Este material é composto por hematita, gibbsita e caulinita (Figura 46). Os nódulos estão imersos e densamente empacotados pela matriz argilosa (Figura 47). Esta matriz é criptocristalina, homogênea, coloração amarelada de notação 10Y R 8/14 (Munsell, 1975), aspecto terroso e poroso. Compõe-se de caulinita e gibbsita.

Os nódulos observados em microscópio óptico ocorrem na forma arredondada com vazios arredondados e, certas vezes, alongados imersos em um plasma ferruginoso matricial de cor opaca. Em imagens de MEV a matriz ferruginosa revela formas aciculares na forma de feixes ou leques (Figura 48) preenchendo as cavidades de grãos de quartzo. Os vazios são derivados a partir da dissolução de grãos de quartzo. Os vazios podem ser preenchidos de forma parcial ou total por gibbsita maclada na forma de mosaico ou na forma de franja que pode lhe conferir uma textura em células. Alguns vazios são identificados grãos de quartzo fraturado e corroído na parte central das cavidades, em cujas bordas são encontrados cristais de gibbsita (Figura 49). Esta feição de cristais de gibbsita ao redor dos grãos de quartzo

sugere um processo de substituição de quartzo por gibbsita (Truckenbrodt *et al.* 1995). Outra estrutura descrita são cutãs goethíticos.



Figura 45 – Contato gradativo entre o horizonte nodular ferruginoso e horizonte nodular bauxítico.

Foto: Marcondes Lima da Costa.

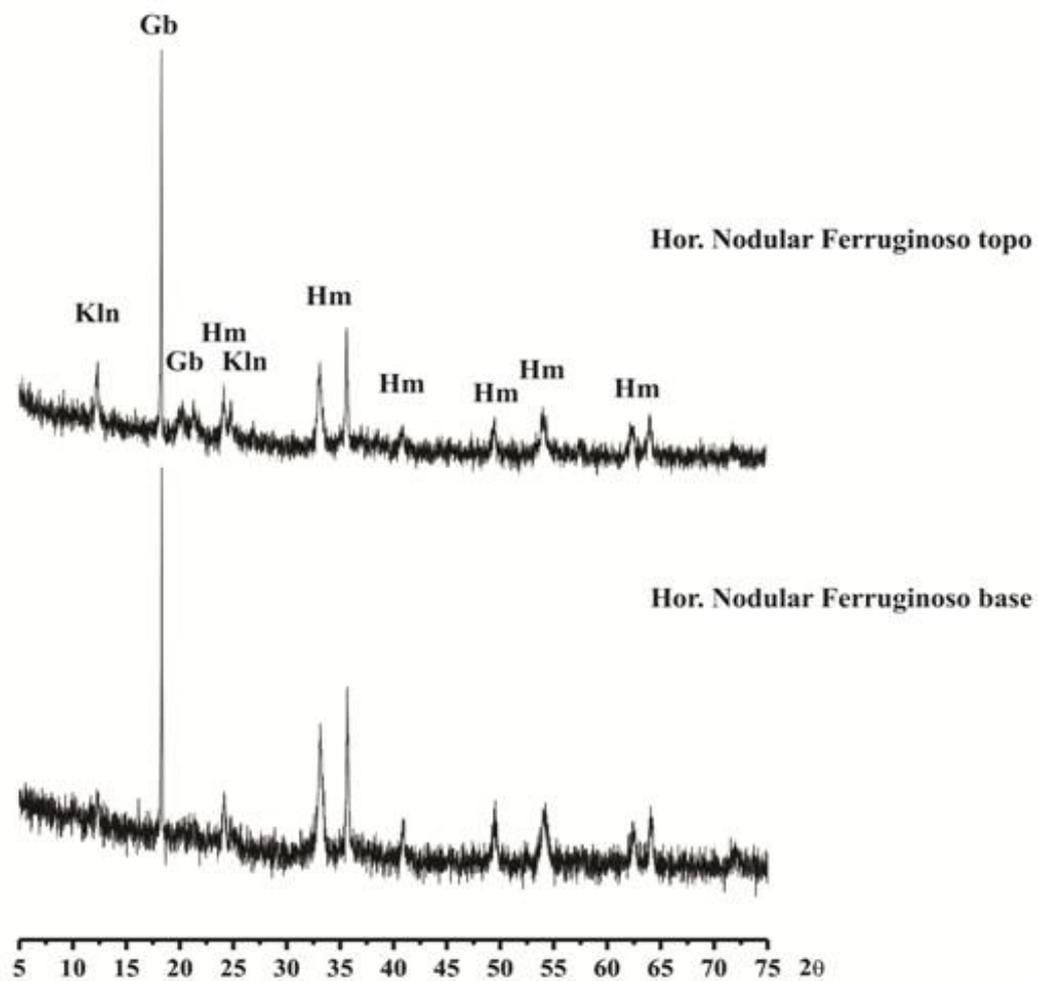


Figura 46 – Minerais identificados por DRX no horizonte nodular ferruginoso no perfil laterítico de Juruti: Gb – gibbsita, Hm – hematita e Kln – caulinita.



Figura 47 - Nódulos ferruginosos de tamanhos maiores na base e menores no topo, imersos na matriz argilosa composta de caulinita e gibbsita.

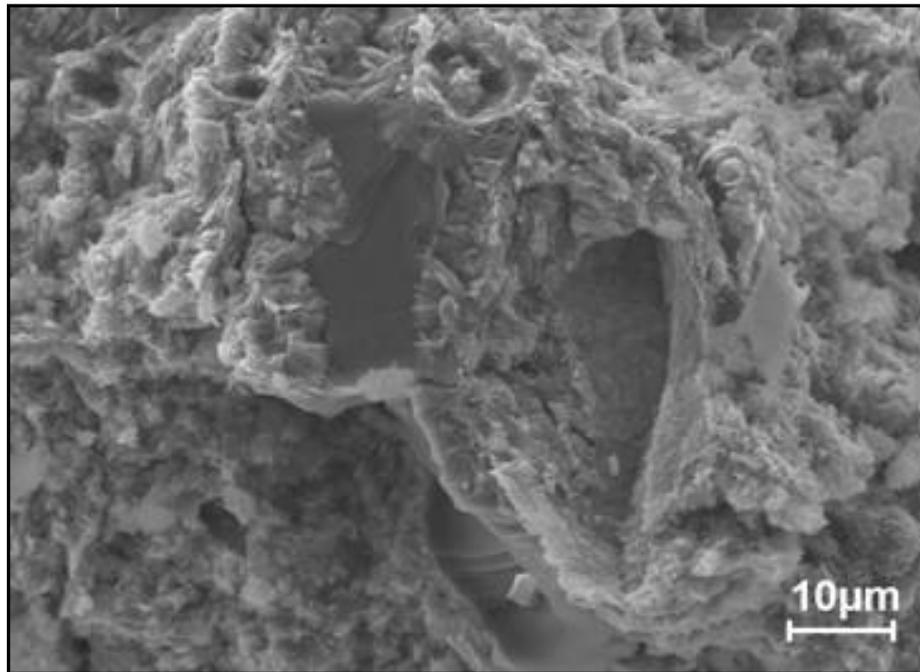


Figura 48 – Imagem de MEV exibindo um cimento ferruginoso na forma de feixes ou leques preenchendo cavidades dos nódulos ferruginosos.

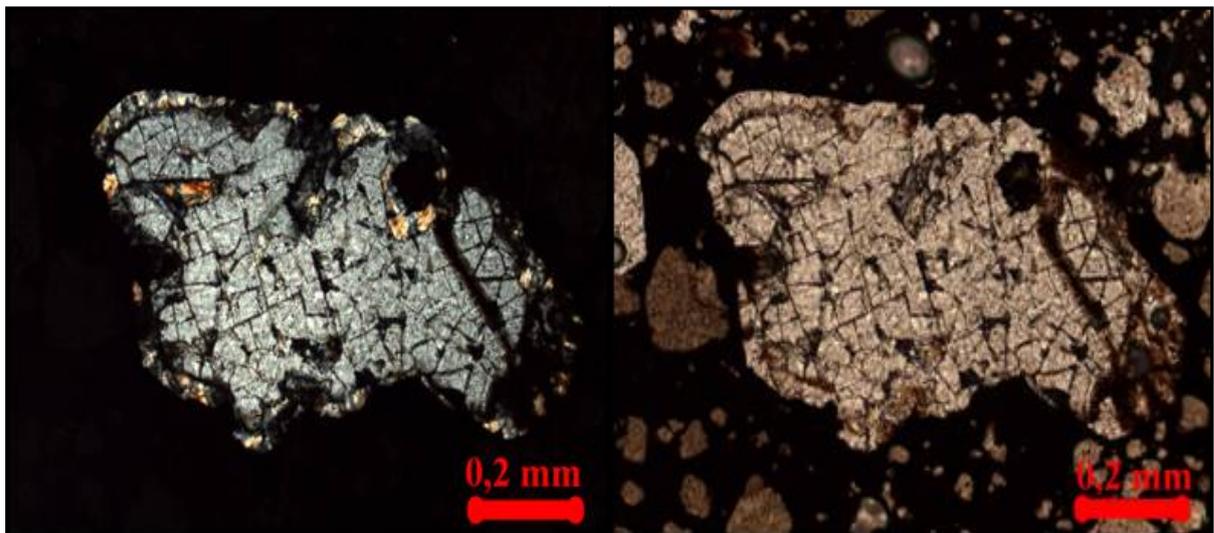


Figura 49 – Fotomicrografia de grãos de quartzo fraturados e corroídos na parte central das cavidades, cujas bordas dos grãos de quartzo são ocorridos cristais de gibbsita. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.

4.3.5 Horizonte Nodular Bauxítico

O horizonte nodular bauxítico tem uma espessura de 1m, apresenta um contato brusco com a cobertura argilosa. Os nódulos são arredondados, certas vezes, alongados verticalmente e formas irregulares. Este material é observado uma seleção gradativa havendo na base nódulos de tamanhos maiores de até 7 cm, enquanto no topo os nódulos de tamanho em média de 1 cm (Figura 50). Estas partículas são formadas por gibbsita e caulinita (Figura 51). Esses nódulos estão imersos e densamente empacotados pela matriz argilosa. Tal material é composto de caulinita e gibbsita.

Na base deste horizonte com auxílio do microscópio óptico foi descrito a ocorrência de nódulos arredondados imersos na matriz aluminosa (Figura 52). Nesta porção inferior são identificados uma associação do plasma de cor marrom e um plasma esverdeado que pode gerar uma textura na forma de brechóide. Os vazios ou cavidades apresentam formas irregulares, curvadas, ramificadas e esferoidais ou meia-lua. Esta última feição pode ocasionar a formação de pseudoesferólitos. O forte desenvolvimento de fraturas e fissuras pode gerar um aspecto vermicular (Figura 52). Os vazios podem ser preenchidos de forma parcial ou total por cristais de gibbsita na forma de mosaico ou de franja. No centro de alguns vazios são identificados a ocorrência de cristais de quartzo fraturados e corroídos, cujas bordas são identificados cristais de gibbsita. As microfraturas dos cristais de quartzo, certas vezes, são preenchidas por oxi-hidróxidos de ferro. Nas cavidades dos nódulos é encontrado um material argiloso do tipo caulinita. Na porção superior próximo a zona de contato com a cobertura argilosa os nódulos são digeridos pela matriz aluminosa que pode ocorrer na forma de um padrão concêntrico de zoneamento (Figura 53). Este padrão concêntrico é relacionado à mobilização do ferro e condições locais de hidratação (Kotschoubey *et al*, 2005).



Figura 50 – Nódulos bauxíticos de tamanhos maiores na base e menores no topo, imersos na matriz argilosa composta de caulinita e gibbsita.

Foto: Marcondes Lima da Costa.

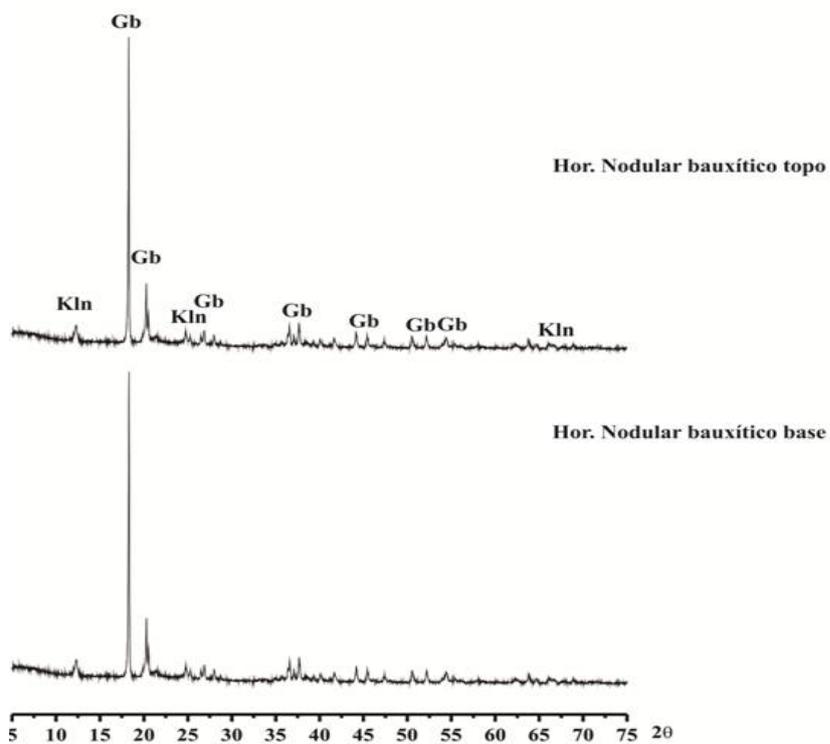


Figura 51 – Minerais identificados por DRX no horizonte nodular bauxítico no perfil laterítico de Juruti: Gb – gibbsita e Kln – caulinita.

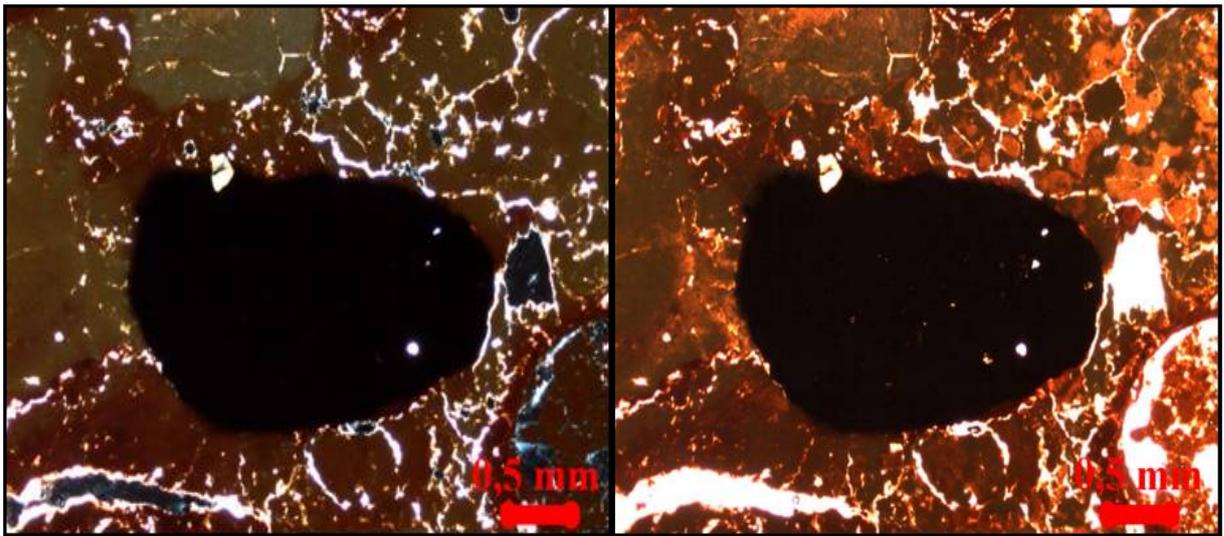


Figura 52 – Fotomicrografia mostrando nódulos opacos de forma subarredondados imersos em plasma gibbsítico-goethítico com microfissuras preenchidas por gibbsita. Nicóis cruzado na imagem à esquerda e nicóis paralelos à direita.

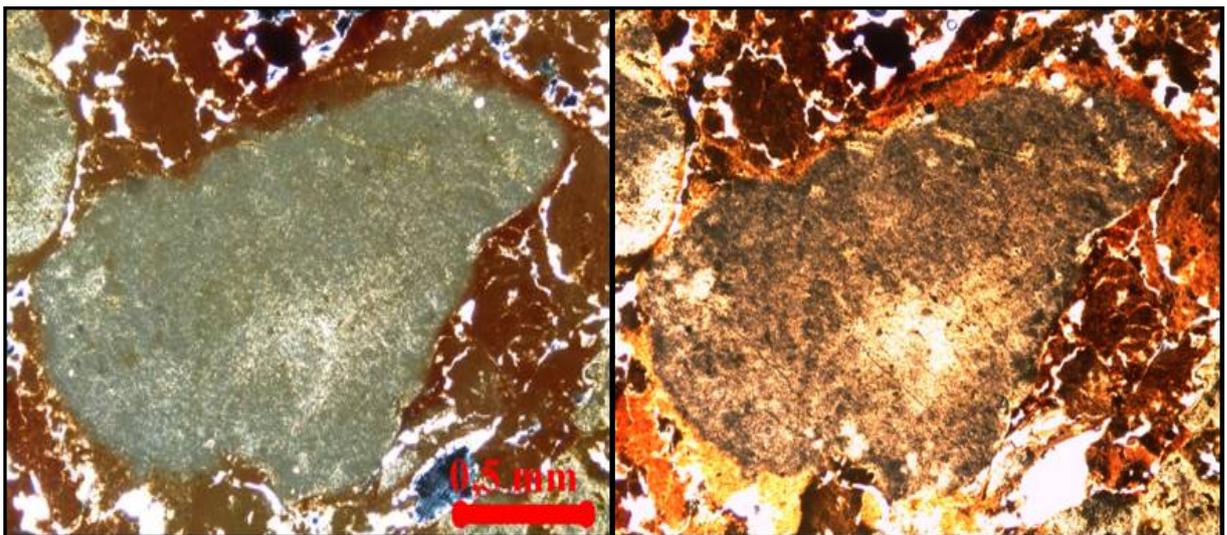


Figura 53 – Fotomicrografia de material micronodular intraplasma em plasma de gibbsita-goethita, microfissura, em que as fissura foram preenchidas por gibbsita cristalina aluminosa. Nicóis paralelos na imagem à esquerda e nicóis cruzado a direita.

4.3.6 Cobertura Argilosa

Com espessura na parte central da mina de Juruti em torno de 17 m, enquanto nas bordas dos platôs a espessura chega a 3m. Como nos demais perfis corresponde também a latossolo marrom-amarelado de notação 10 YR 4/3 (Munsell, 1975), homogêneo, de consistência terrosa, contendo nódulos de coloração branca de tamanho entre 0,1 mm a 2 cm,

sem estruturação visível e microagregado. É formada essencialmente de caulinita, gibbsita e goethita (figura 54 e 55).

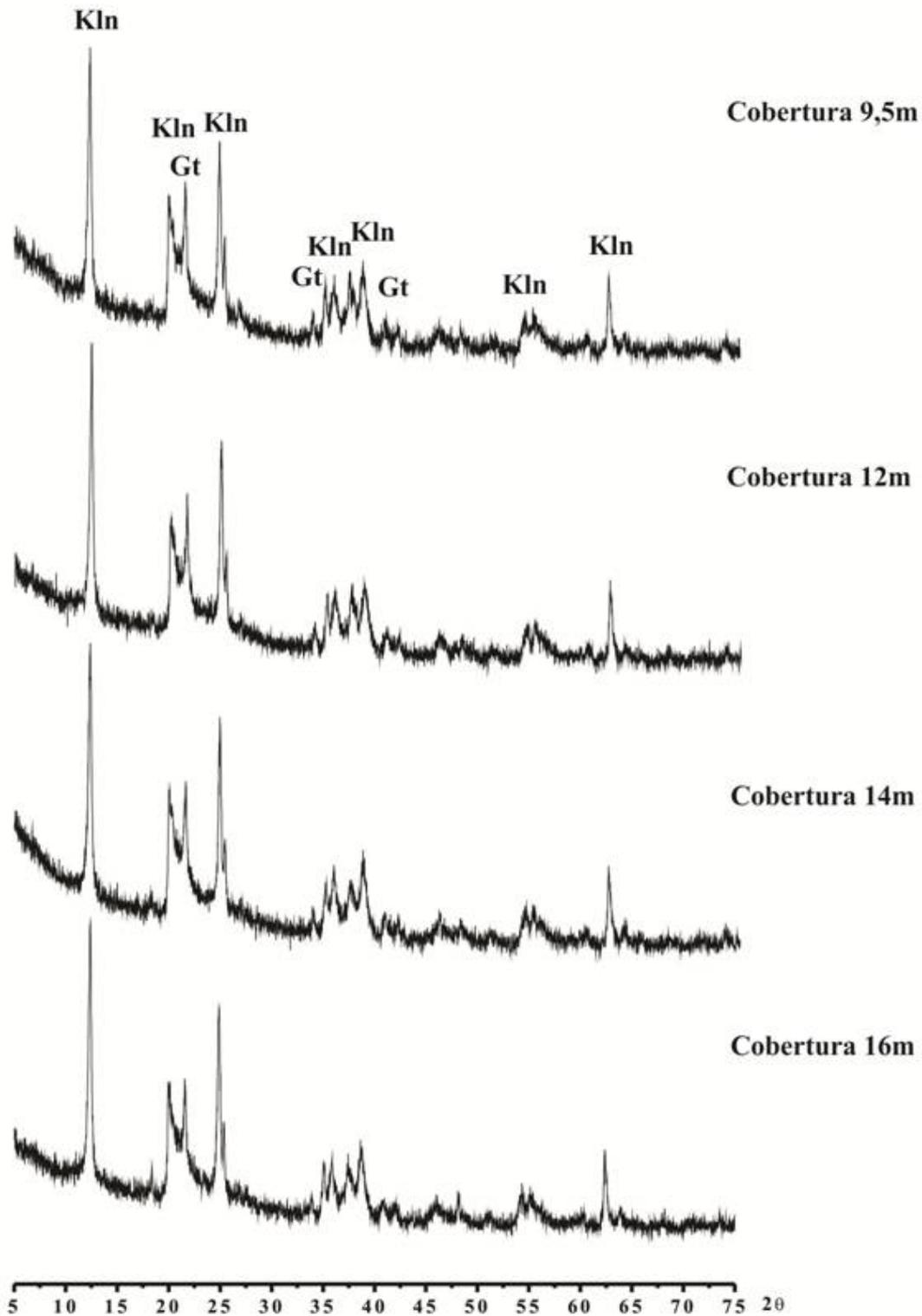


Figura 54 - Minerais identificados por DRX na parte inferior da cobertura argilosa no perfil laterítico de Juruti: Gb – gibbsita, Kln – caulinita e Gt – goethita.

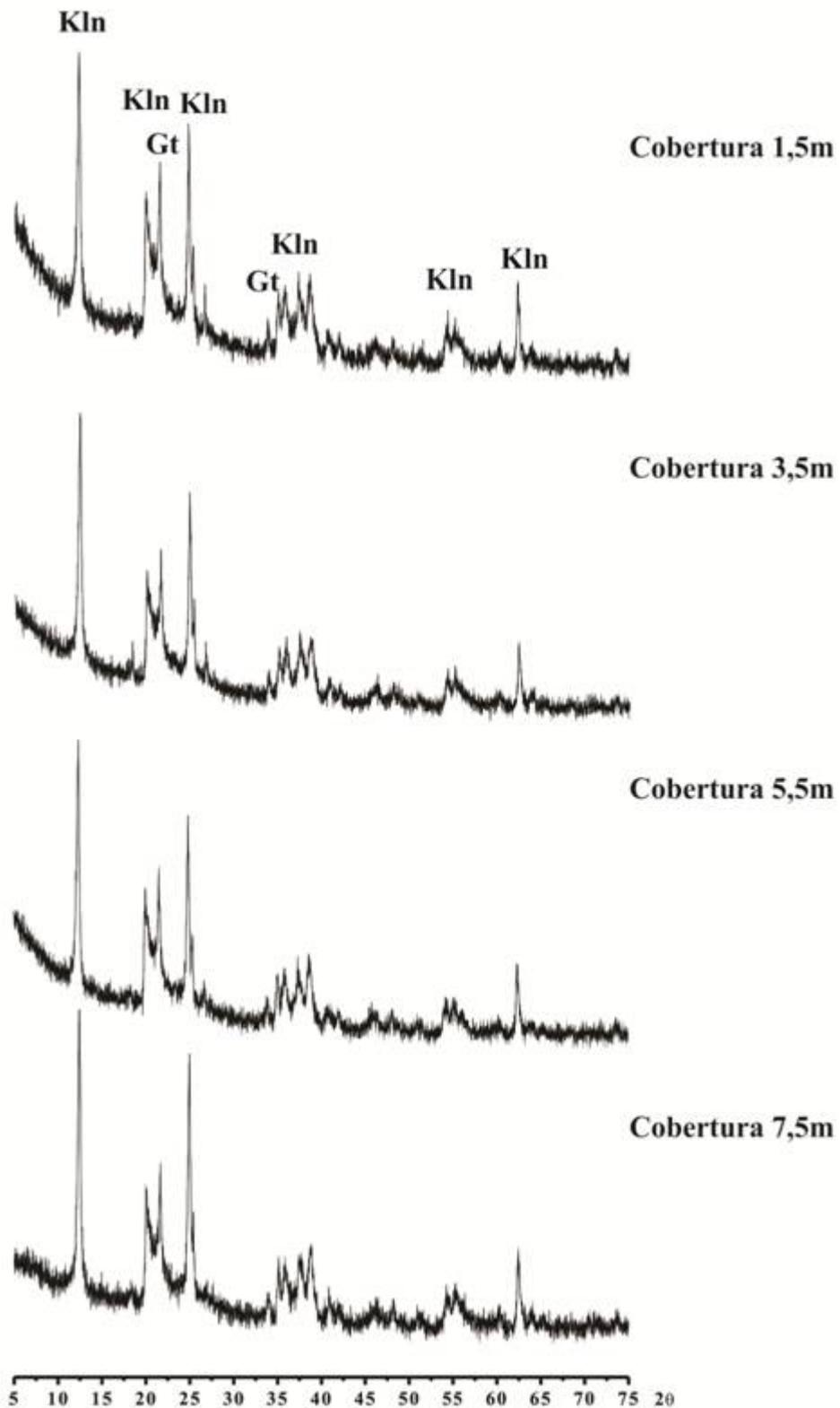


Figura 55 - Minerais identificados por DRX na parte superior da cobertura argilosa no perfil laterítico de Juruti: Gb – gibbsita, Kln – caulinita e Gt – goethita.

5 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

5.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO PERFIL PA-256

O perfil laterítico PA-256 é constituído essencialmente por SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 que, juntamente com a perda ao fogo, compõem mais de 99% da composição química geral do perfil (Tabela 2). No entanto seus valores variam segundo os diversos horizontes identificados.

Tabela 2 - Composição química do perfil laterítico PA-256 km-17 (% em peso).

Horizonte/ Componentes químicos	COB * (0,5m)	COB * (1,8m)	HC (topo)	HC (base)	BX	HAGV	MOSQ
SiO_2	38,08	35,24	25,09	19,04	9,36	43,01	43,95
TiO_2	2,14	2,41	2,01	2,14	1,65	2,05	1,43
Al_2O_3	36,41	40,35	31,15	45,50	56,16	36,59	37,27
Fe_2O_3	5,89	3,87	26,05	10,14	3,17	3,26	2,56
P_2O_5	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,15	0,06
P.F.	17,0	17,7	15,3	22,8	29,3	14,5	14,4
Total	99,58	99,63	99,66	99,67	99,68	99,56	99,60

* Os números entre parênteses indicam a profundidade de coleta da amostra. COB - cobertura argilosa; HC – horizonte concrecionário; BX – bauxita; HAGV – horizonte argiloso avermelhado e MOSQ – horizonte mosqueado. P.F. - perda ao fogo.

Como são esperados, os valores mais elevados de Al_2O_3 e P.F. (56,16% e 29,3%, respectivamente) são encontrados na bauxita, constituindo a gibbsita, mineral dominante. A cobertura argilosa, o horizonte argiloso e o horizonte mosqueado são ressaltados pelos valores mais elevados de SiO_2 ao lado de valores altos de Al_2O_3 , constituindo a caulinita, o seu principal mineral, além de quartzo e gibbsita, mais restritos.

Por sua vez, pelas características geológicas e mineralógicas os teores de Fe_2O_3 são mais elevados no horizonte concrecionário com 26,05% e os menores ocorrem na cobertura argilosa com 3,87%, constituindo os minerais hematita e goethita. Os teores TiO_2 , que variam desde 1,65% a 2,41%, correspondem classicamente ao anatásio.

As concreções de núcleo avermelhado, porção intermediária amarelada e porção externa esbranquiçada que compõem o horizonte concrecionário mostram teor de Fe_2O_3 decrescente do núcleo para a porção externa. No núcleo, estas elevadas concentrações (49%),

ao lado da cor, indicam domínio de óxi-hidróxidos de ferro (hematita e/ou goethita), diminuindo abruptamente para porção intermediária (20%) e mais intensamente nas bordas (6%). Por outro lado, neste sentido aumentam os teores de SiO_2 e Al_2O_3 , indicando abundância crescente de caulinita e gibbsita, de forma similar aos nódulos observados por Nahon (1991) e Horbe (1995), Horbe & Costa (1999). Este zoneamento é, portanto químico e mineralógico, pode representar um processo de desferrificação de possíveis relictos de crostas ou talvez de antigas feições derivadas do mosqueado.

Entre os elementos traços no perfil laterítico PA-256 (Tabela 3) destacam-se os valores mais elevados de Zr (989 ppm até 2057,9 ppm), V (55 ppm até 690 ppm) e Cr (100 ppm até 300 ppm). Os valores de Ga, Nb, Th, Hf, Sr e Y se situam entre 30 ppm e 80 ppm, enquanto os elementos Co, Ta, Sc, Sn, U, W, Cu, Hg, Mo, Pb e Zn são ainda mais baixo, < 30 ppm. Essas concentrações quando comparadas com a média crustal (Taylor & McLennan, 1985) indicam que Cr, Ga, Hf, Nb, Sc, Sn, Ta, U, V, W, Y, e Zn teriam se enriquecidos, enquanto Ba, Co, Sr, Cu, Ni, Pb e Zn teriam se empobrecidos. As concentrações de As, Hg e Mo oscilam entre valores ligeiramente acima ou abaixo da média crustal.

Quando se analisa o padrão de distribuição das concentrações dos elementos traços no perfil laterítico é possível distinguir quatro grupos:

1 - Pb concentrando-se, em geral, no horizonte argiloso e a porção basal do horizonte concrecionário (com óxi-hidróxidos de ferro). A correlação positiva Fe_2O_3 -Pb (Figura 56) sugere que o Pb esteja associado por adsorção à hematita e goethita.

2 – Ga concentrando-se na bauxita e nas concreções (com oxi-hidróxidos de Al). Ele se correlaciona positivamente com Al_2O_3 (Figura 56), fato similar aos perfis lateríticos de Camarões na África Equatorial e difere daquela descrita para os perfis lateríticos na Amazônia que normalmente estão correlacionadas somente ao Fe_2O_3 (Hieronymus *et al.* 2001).

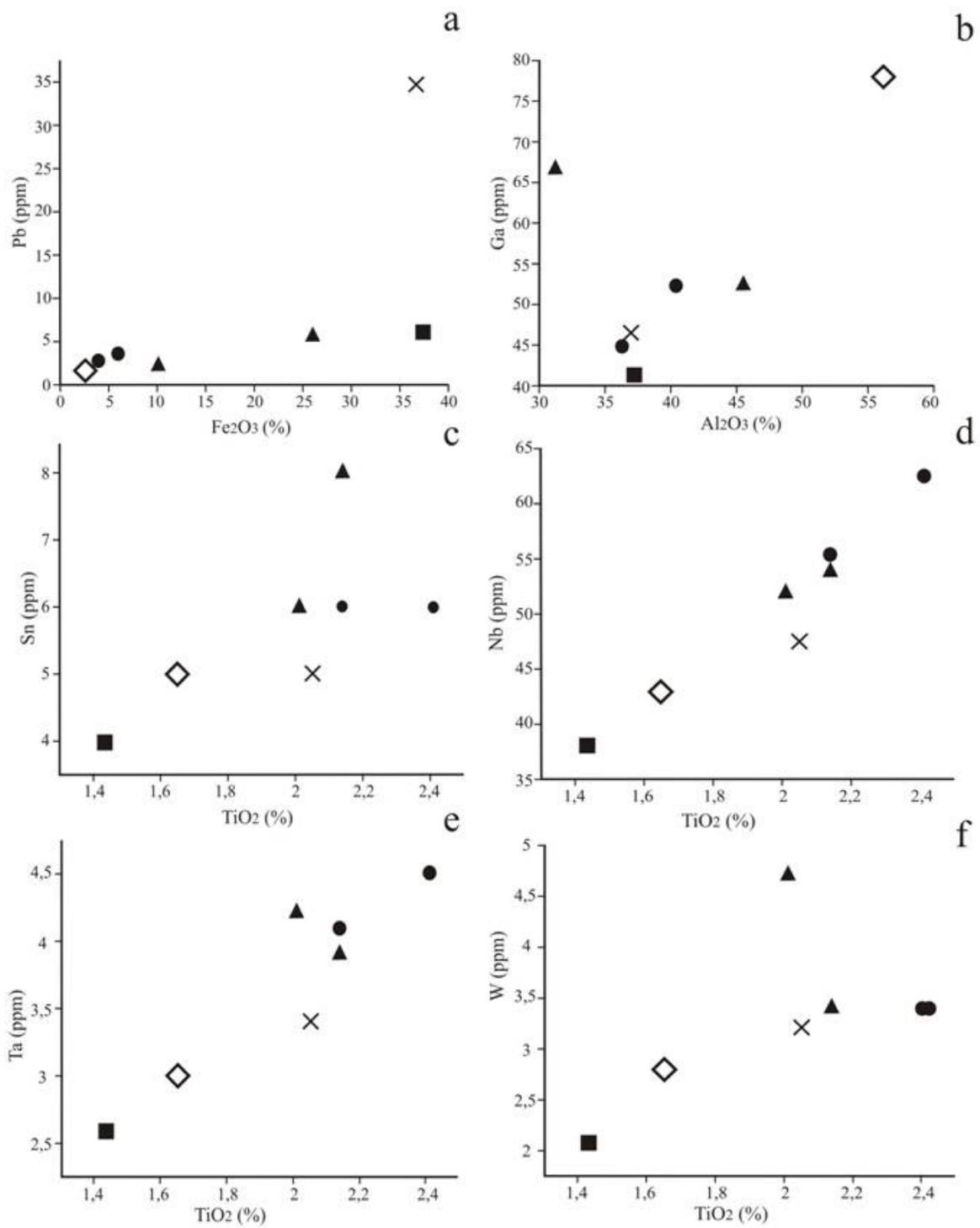
3 - Sn, Nb, Ta, W, Hf, U, Y e Zr com concentrações, que em geral, aumentam em direção a cobertura argilosa amarela tipo Argila de Belterra, paralelamente aos valores de TiO_2 (Figura 56), ou seja, ao anatásio, como foi descrito por Corrêa (1996) e Santos (1996). O Zr deve ser o mais abundante de todos, deve formar o mineral zircão, detectado nos materiais investigados, e deve ser o carreador dos demais elementos desta associação. Isto é confirmado pela correlação positiva altamente significativa de U, Hf e Y com o Zr (Figura 57), fato frequente e já mencionado por Horbe & Costa (1999).

4 - Cr, Cu, Ni e V variam irregularmente ao longo do perfil, e se correlacionam com os teores de Fe₂O₃, e, portanto podem também estar na estrutura dos oxi-hidróxidos de Fe como demonstrado anteriormente por Horbe (1995), Santos (1996) e Tengoua *et al.* (2003).

Tabela 3 - Concentração dos elementos traços (ppm) no perfil laterítico PA-256.

Horizonte/ elemento	COB * (0,5m)	COB * (1,8m)	HC (topo)	HC (base)	BX	HAV	MOSQ	MC
Ba	48	54	41	44	32	135	49	668
Co	1,1	0,6	0,5	0,3	0,3	0,7	0,8	11,6
Cr	109	123	164	301	123	96	62	35
Ga	45,0	52,2	52,4	66,5	78,1	45,8	41,1	14
Hf	50,8	54,1	54,1	53,0	48,5	34,6	26,1	5,8
Nb	55,0	62,5	54,1	51,7	42,9	47,4	38,1	26
Rb	0,9	0,7	0,3	0,3	0,3	2,6	3,5	110
Sc	15	17	16	16	13	16,0	11	7
Sn	6	6	8	6	5	5	4	2,5
Sr	43,3	51,9	33,4	29,4	24,3	81,1	45,1	316
Ta	4,1	4,5	3,9	4,2	3,0	3,4	2,6	1,5
Th	55,7	66,0	61,1	67,4	51,0	51,2	45,6	10,3
U	5,3	5,8	5,6	5,0	5,1	4,6	3,8	2,5
V	137	91	141	690	108	75	55	53
W	3,4	3,4	3,4	4,7	2,8	3,2	2,1	1,4
Y	34,6	37,9	37,7	40,5	40,2	40,1	28,3	20,7
Zr	1849,8	2007,8	2057,9	1916,7	1952,4	1252,7	989,5	237
Cu	0,6	0,8	0,9	1,0	0,4	1,0	0,8	14,3
Hg	0,16	0,04	0,10	0,18	0,06	0,01	<0.01	0,06
Mo	0,6	0,2	0,7	8,1	0,2	<0.1	<0.1	1,4
Pb	3,6	2,6	2,0	5,6	1,5	34,8	6,2	17
Zn	3	1	4	8	5	2	<1	52

* Os números entre os parênteses indicam a profundidade de coleta da amostra. COB - cobertura argilosa; HC - horizonte concrecionário; BX - bauxita; HAV - horizonte argiloso avermelhado; MOSQ - horizonte mosqueado e MC - média crustal.



Legenda

■ Mosqueado × Arg. Vermelha ◇ Bauxita ▲ Concreções ● Cobertura

Figura 56 – Digrama de correlação entre Fe₂O₃/Pb (a), Al₂O₃/Ga (b), TiO₂/Sn (c), TiO₂/Nb (d), TiO₂/Ta (e) e TiO₂/W (f) no perfil laterítico PA-256.

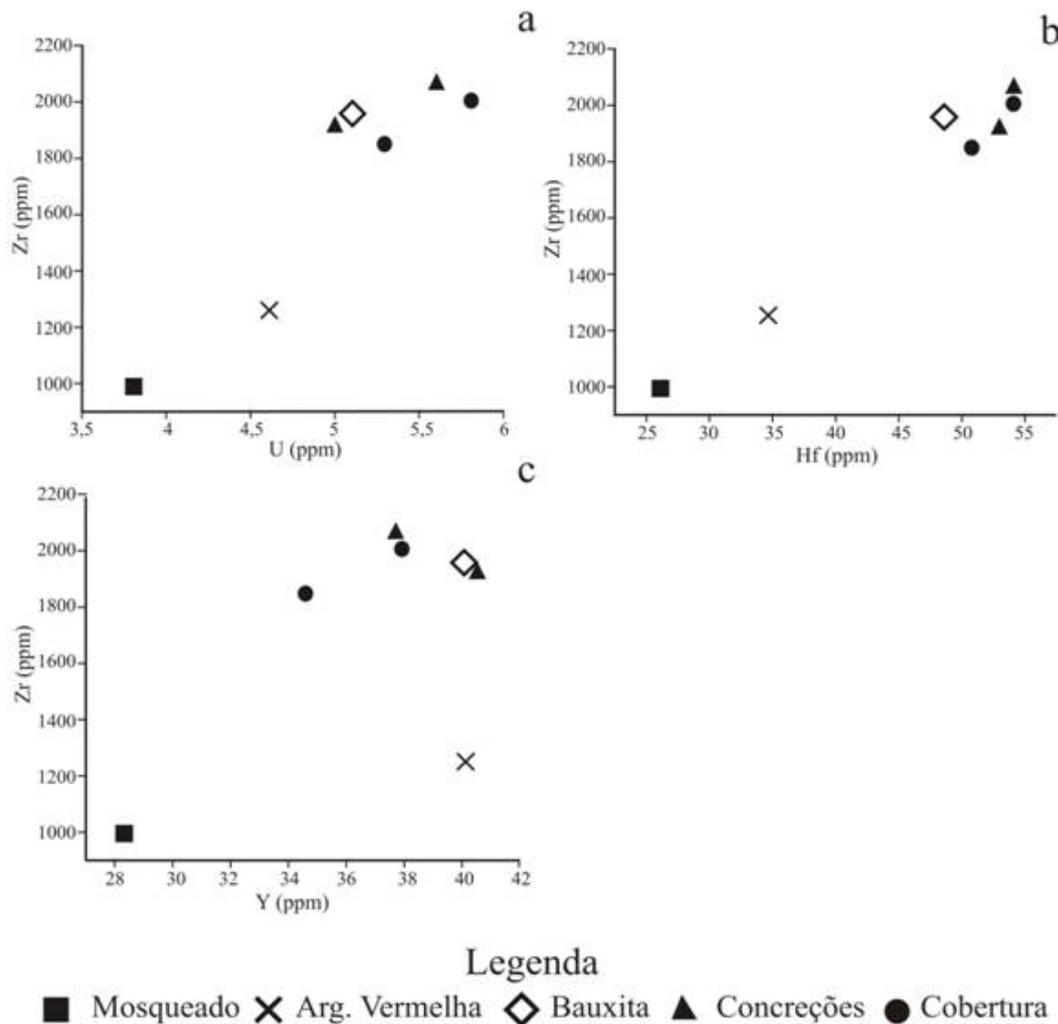


Figura 57 – Diagrama de correlação entre U/Zr (a), Hf/Zr (b) e Y/Zr (c) no perfil laterítico PA-256.

As concentrações dos elementos terras raras (ETR) estão acima daquelas da crosta superior (Taylor & McLennan, 1981), principalmente na cobertura argilosa e na argila vermelha, exceto Sm, Eu e Gd na bauxita e Gd no horizonte mosqueado que estão abaixo (Tabela 4 e Figura 58). Os valores mais elevados foram observados na argila vermelha e na cobertura argilosa. As concentrações dos elementos terras raras quando normalizados com os condritos (Evensen *et al.* 1978) mostram ligeira anomalia negativa de Eu, que também se manifestou quando normalizados a crosta superior da Terra e razões La_N/Lu_N (entre 5 e 27 vezes). O paralelismo entre as curvas normalizadas indica uma grande afinidade geoquímica entre os horizontes (Figura 59).

Tabela 4 - Concentração dos elementos terras raras (ppm) no perfil laterítico PA-256.

Horizonte/ elemento	COB* (0,5m)	COB* (1,8m)	HC (topo)	HC (base)	BX	HAV	MOSQ	CS	COND
La	81,5	102,2	70,5	66,6	60,2	241,5	87,1	30	0,24
Ce	164,2	207,2	127,2	112,1	97,5	570,8	207,6	64	0,64
Nd	51,1	62,9	39,3	35,1	28,1	137,5	56,6	26	0,47
Sm	6,71	8,20	5,14	4,81	3,88	15,84	5,70	4,50	0,15
Eu	1,21	1,45	0,96	0,87	0,75	2,73	0,94	0,88	0,06
Gd	4,20	4,71	3,54	3,63	3,41	6,34	2,64	3,8	0,20
Dy	5,38	6,05	5,36	5,72	5,72	6,76	4,26	3,5	0,25
Ho	1,19	1,33	1,28	1,40	1,40	1,39	0,98	0,8	0,06
Er	4,28	4,64	4,72	4,88	5,17	4,79	3,45	2,3	0,17
Yb	5,56	6,15	5,97	6,38	6,63	5,81	4,38	2,2	0,17
Lu	0,92	1,01	1,02	1,04	1,12	0,92	0,70	0,32	0,03

* Os números entre os parênteses indicam a profundidade de coleta da amostra. COB: cobertura argilosa; HC – horizonte concrecionário; BX – bauxita; HAV – horizonte argiloso avermelhado; MOSQ – horizonte mosqueado, CS – crosta superior e COND – condritos.

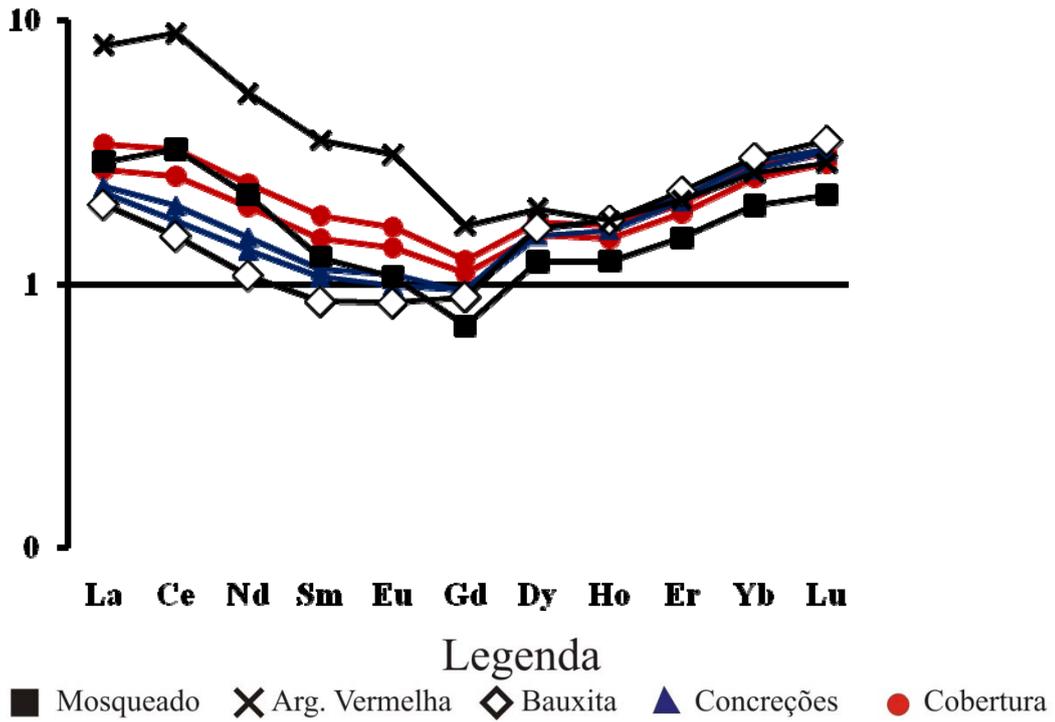


Figura 58 – Curvas de distribuição dos ETR normalizados a média crustal no perfil laterítico PA-256.

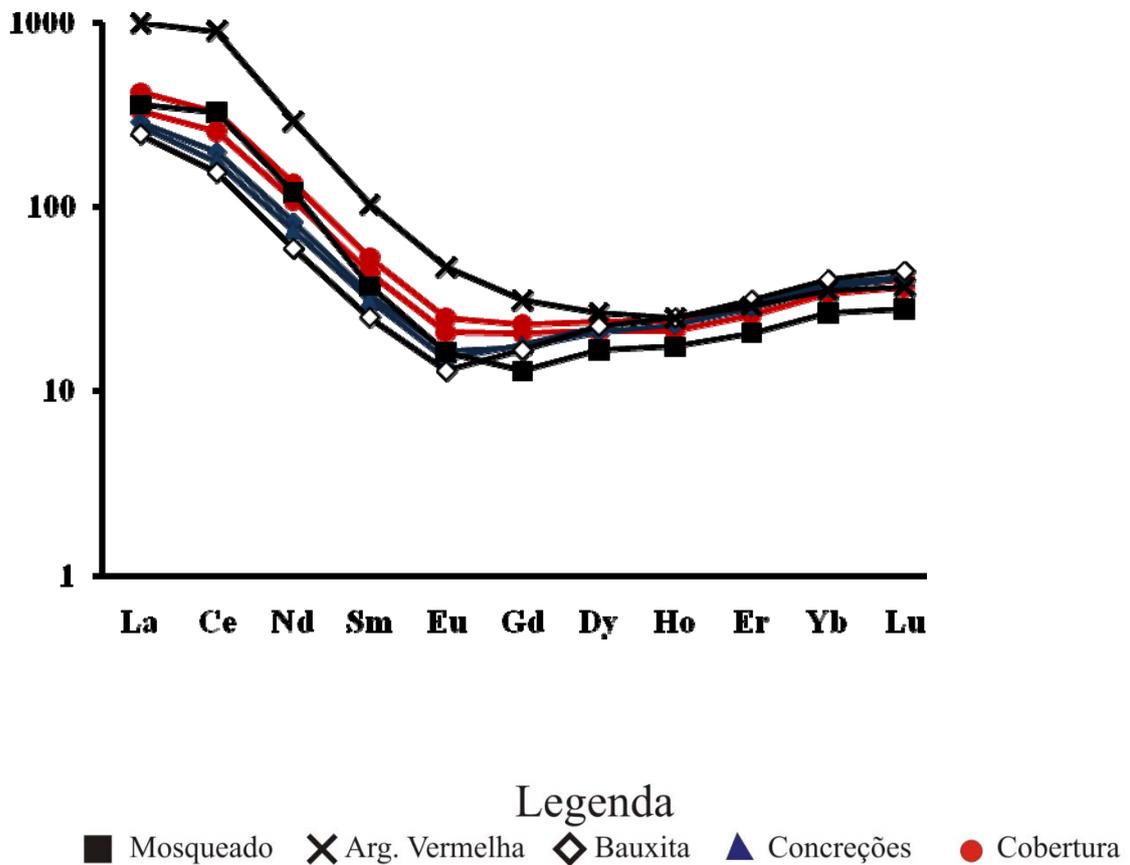


Figura 59 – Curvas de distribuição dos ETR normalizados aos condritos no perfil laterítico PA-256.

5.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO PERFIL JABUTI

O perfil laterítico Jabuti da mesma forma que o da PA 256, como o esperado, é constituído principalmente por SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , que juntamente com a perda ao fogo, perfazem mais de 95% da composição química (Tabela 5).

Tabela 5 - Composição química do perfil laterítico Jabuti.

Horizonte/ Componentes químicos	COB* (1m)	COB* (2,5m)	COB* (3,5m)	CRO (topo)	CRO (Inter.)	CRO (base)	BX (topo)	BX (base)
SiO₂	26,50	24,58	22,06	1,51	2,87	3,23	4,22	12,21
TiO₂	3,16	3,15	3,27	2,00	1,93	1,83	1,50	2,83
Al₂O₃	40,08	43,06	45,11	37,19	42,42	47,30	32,61	51,72
Fe₂O₃	6,60	5,89	5,68	36,74	26,99	18,99	41,33	2,84
P₂O₅	0,06	0,06	0,07	0,11	0,11	0,10	0,11	0,14
P.F.	22,90	22,6	23,2	22,00	25,2	28,10	19,8	26,50
Total	99,30	99,34	99,39	99,55	99,5	99,55	99,57	96,24

* Os números entre os parênteses indicam a profundidade de coleta da amostra. COB - cobertura argilosa; CRO - crosta ferro-aluminosa; BX - bauxita e P.F. - perda ao fogo.

Os valores mais elevados de Al_2O_3 e P.F. são encontrados na bauxita (51,72% e 26,50% respectivamente), e na base da crosta (47,3% e 28,1% respectivamente), fato esperado pela mineralogia dominada por gibbsita. A cobertura é ressaltada pelos valores mais elevados de SiO_2 ao lado também de valores altos de Al_2O_3 (variando de 40,08% a 45,11%), constituindo a caulinita, o seu principal mineral, além de quartzo e gibbsita, que são mais restritos. Os teores de SiO_2 e Al_2O_3 da cobertura do perfil laterítico Jabuti são menores para SiO_2 e maiores para Al_2O_3 quando comparados com o perfil laterítico PA-256. Esse valor mais elevado de Al_2O_3 indica maior abundância de gibbsita no perfil Jabuti do que na PA-256.

Os teores de Fe_2O_3 são mais elevados na parte do topo do horizonte bauxítico e na crosta com teores de 41,33% e 36,74%, respectivamente, enquanto o menor valor está na porção basal da bauxita com 2,83%. A variação destes valores está relacionada à maior, ou menor, abundância de hematita e goethita nestes horizontes. Estes teores de Fe_2O_3 são maiores no perfil do Jabuti quando comparados com o perfil da PA-256. Os teores TiO_2 , que variam de 1,50% a 3,27%, ocorrem principalmente na cobertura e correspondem ao anatásio.

Entre os elementos traços no perfil laterítico do Jabuti (Tabela 6) destacam os valores mais elevados de Zr (1299 ppm até 3801,9 ppm), V (131 ppm até 580 ppm), Cr (100 ppm até

300 ppm) e Ba (77 ppm até 180 ppm). Ga, Nb, Th, Hf, Sr e Y encontram-se entre 30 ppm e 90 ppm, enquanto que Co, Ta, Sc, Sn, U, W, As, Bi, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb e Zn estão abaixo de 30 ppm. Quando comparadas com a média crustal (Taylor & McLennan, 1985) Cr, Ga, Hf, Nb, Sc, Sn, Ta, U, V, W, Y, Zn e Bi estão enriquecidos, enquanto Ba, Co, Sr, Cu, Ni, e Pb empobrecidos. Por outro lado, as concentrações de As, Hg e Mo estão próximas da crosta superior. As concentrações dos elementos traços no platô Jabuti são superiores aqueles encontrados no perfil laterítico PA- 256 ressaltado principalmente pelas concentrações de Zr, portanto o zircão deve ser mais abundante neste depósito.

Os valores mais elevados de V, Mo e As estão na crosta que se correlacionam positivamente com Fe_2O_3 (Figura 60), da mesma forma que no perfil PA 256. Ga semelhantemente a V, Mo e As estão mais concentrados na crosta, e aí também se correlacionam positivamente com Fe_2O_3 e negativa com Al_2O_3 (Figura 60). Esta correlação negativa entre Ga e Al_2O_3 no perfil laterítico Jabuti é diferente do observado na PA 256. Hieronymus *et al.* 2001 sugere que esta diferença seria pela mudança de condições físico-químicas pelo envolvimento da ferruginização e intensidade de aluminização.

As concentrações de Sn, Sc, Nb, Ta, W, Hf, U, Y e Zr aumentam em direção à cobertura argilosa semelhante ao perfil PA-256, em que Sn, Nb, Ta, W e Sc igualmente se correlacionam positivamente com TiO_2 (Figura 61), e U, Hf e Y com o Zr (Figura 62), sugerindo influência de anatásio e zircão.

Cr, Cu, e Ni apresentam comportamento similar ao do perfil laterítico PA-256, nitidamente associados aos óxi-hidróxidos de ferro.

Tabela 6 - Concentração dos elementos traços (ppm) do perfil laterítico Jabuti.

Horizonte/ Elemento	COB* (1m)	COB* (2,5m)	COB* (3,5m)	CRO (topo)	CRO (Inter.)	CRO (base)	BX (topo)	BX (base)	M C
Ba	77	86	97	138	130	154	180	320	668
Co	1,8	1,8	1,7	0,3	1,6	0,4	0,2	0,7	11,6
Cr	130	171	280	314	246	136	143	157	35
Ga	52,5	56,5	59,2	81,0	89,1	75,0	65,4	63,8	14
Hf	89,6	89,4	91,1	33,9	33,9	33,5	33,1	54,3	5,8
Nb	80,6	79,8	80,7	51,2	49,2	44,9	39,6	73,5	26
Ta	5,9	5,4	5,7	3,5	3,6	3,1	2,7	5,2	1,5
Sc	20	19	20	14	15	13	13	16	7
Sn	8	8	9	6	7	5	4	7	2,5
Sr	43,0	44,7	50,6	60,5	56,9	60,9	68,2	100,4	316
Th	65,5	67,7	73,7	65,4	66,2	52,3	45,1	78,8	10,3
U	9,4	9,7	9,8	4,7	4,9	4,7	4,3	7,6	2,5
V	146	142	131	824	562	378	558	95	53
W	4,9	4,6	5,2	5,0	5,5	3,8	2,4	4,3	1,4
Y	57,9	60,9	62,1	29,4	28,4	32,8	28,2	54,1	20,7
Zr	3638,0	3801,9	3384,7	1357,7	1327,5	1299,0	1317,4	2112,7	237
As	1,0	0,7	0,9	37,0	23,9	6,1	13,8	<0,5	2
Bi	0,3	0,3	0,3	0,7	0,6	0,2	0,3	0,1	0, 123
Cu	1,3	1,0	1,1	0,6	2,0	1,1	1,5	1,2	14,3
Hg	0,12	0,05	0,05	0,88	0,10	0,04	0,36	0,05	0,06
Mo	0,5	0,4	0,4	10,8	7,2	3,8	4,8	0,3	1,4
Ni	2,2	2,0	1,2	0,2	0,7	1,8	0,1	0,3	18,6
Pb	5,5	5,3	6,1	10,6	8,5	7,0	10,4	19,9	17
Zn	5	5	4	1	3	1	6	2	52

* os números entre os parênteses indicam a profundidade de coleta da amostra. COB - cobertura argilosa; CRO - crosta ferro-aluminosa; BX - bauxita e MC - média crustal.

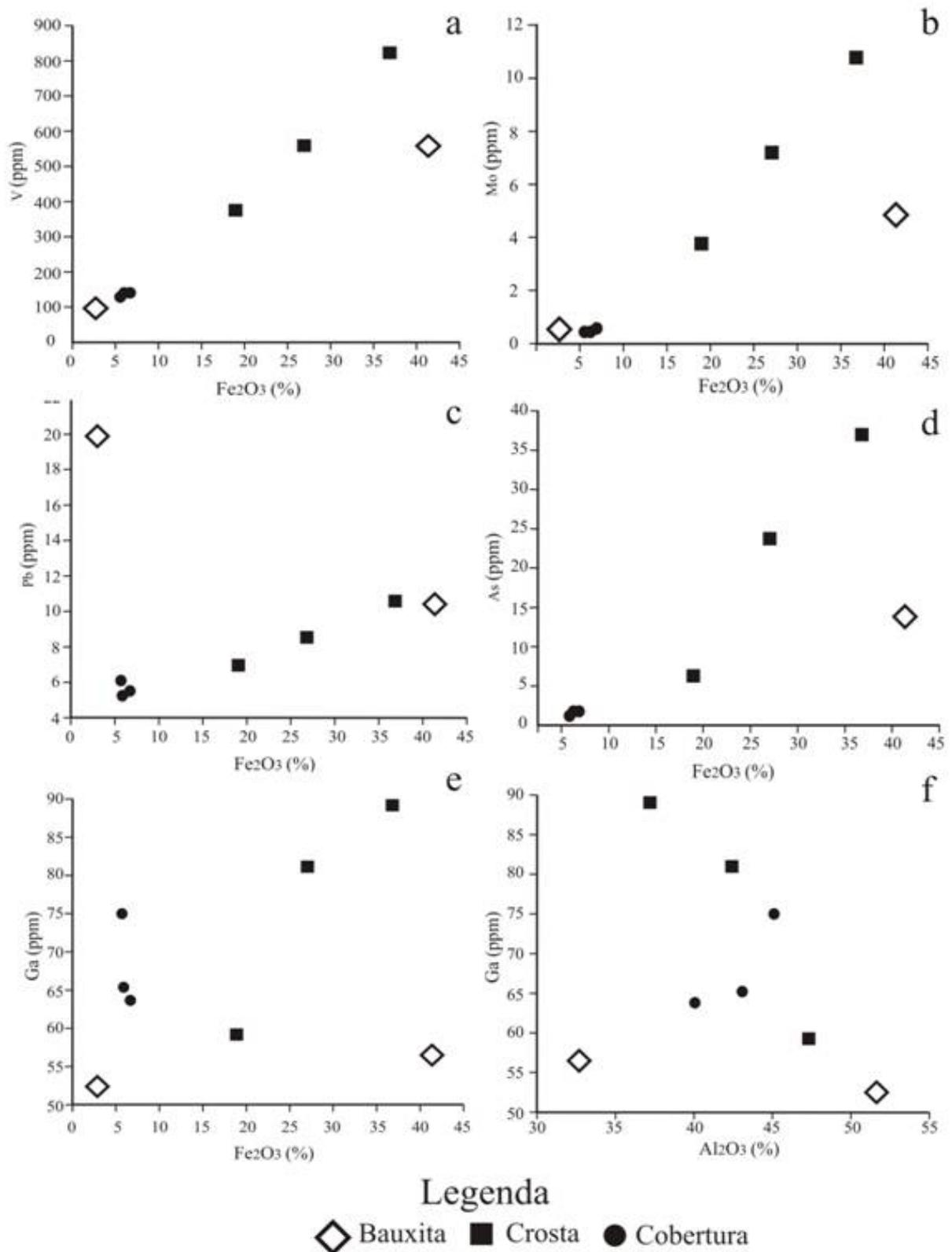


Figura 60 - Digrama de correlação entre Fe_2O_3/V (a), Fe_2O_3/ Mo , Fe_2O_3/Pb (c), Fe_2O_3/As (d), Fe_2O_3/Ga (e) e Al_2O_3/Ga (f) no perfil laterítico Jabuti.

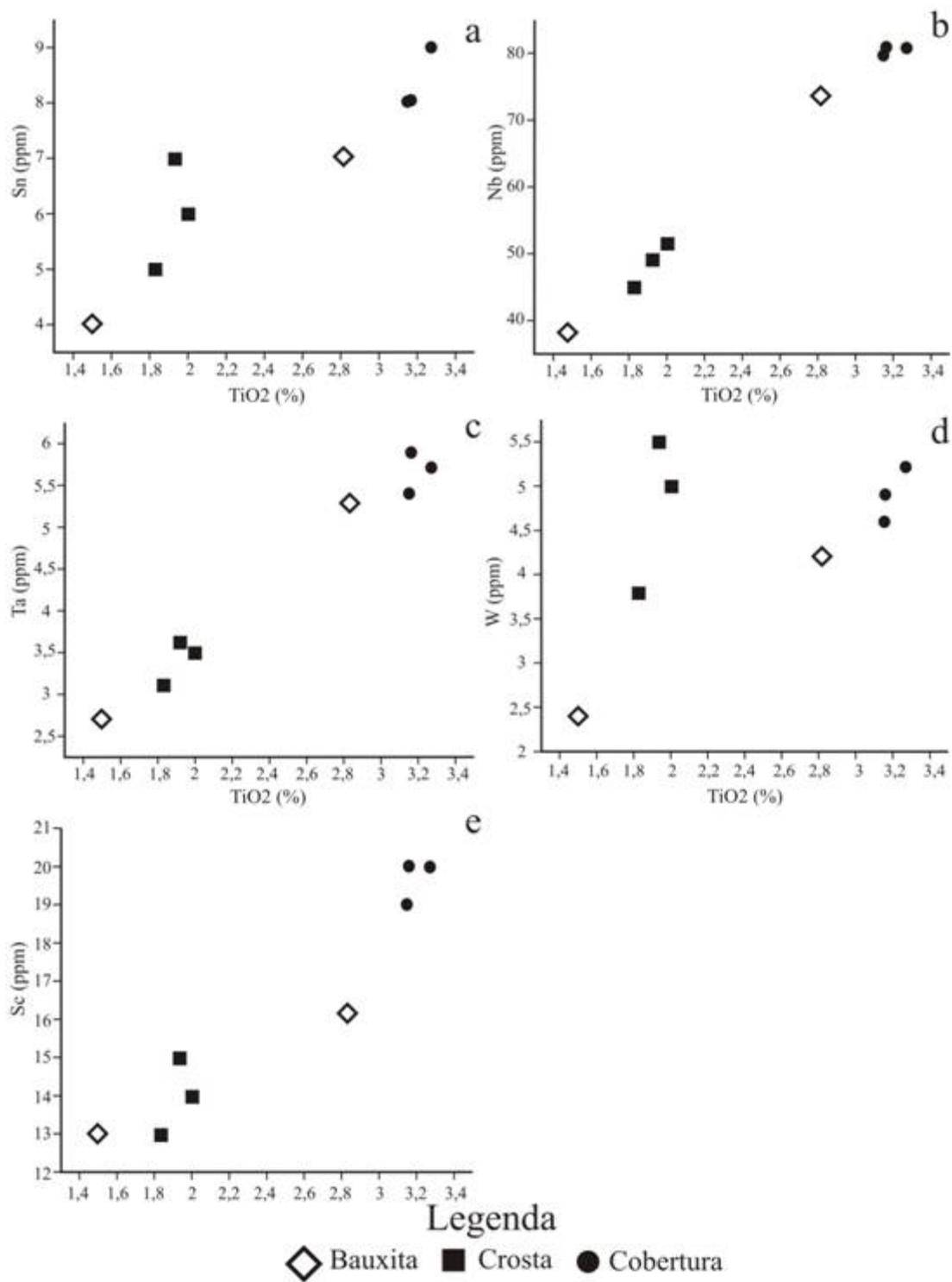


Figura 61 – Diagramas de correlação entre TiO_2/Sn (a), TiO_2/Nb (b), TiO_2/Ta (c), TiO_2/W (d) e TiO_2/Sc (e) no perfil laterítico Jabuti.

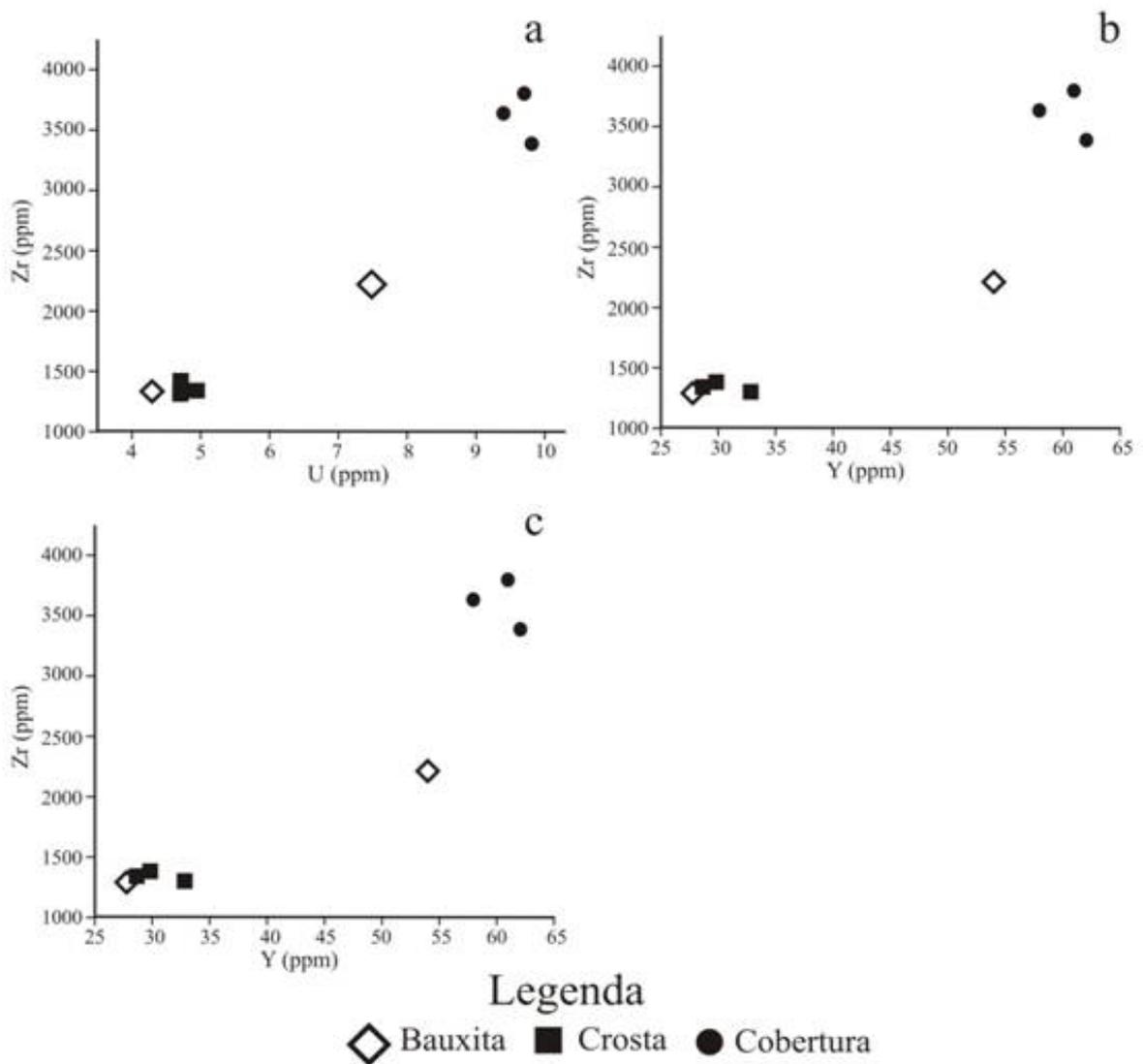


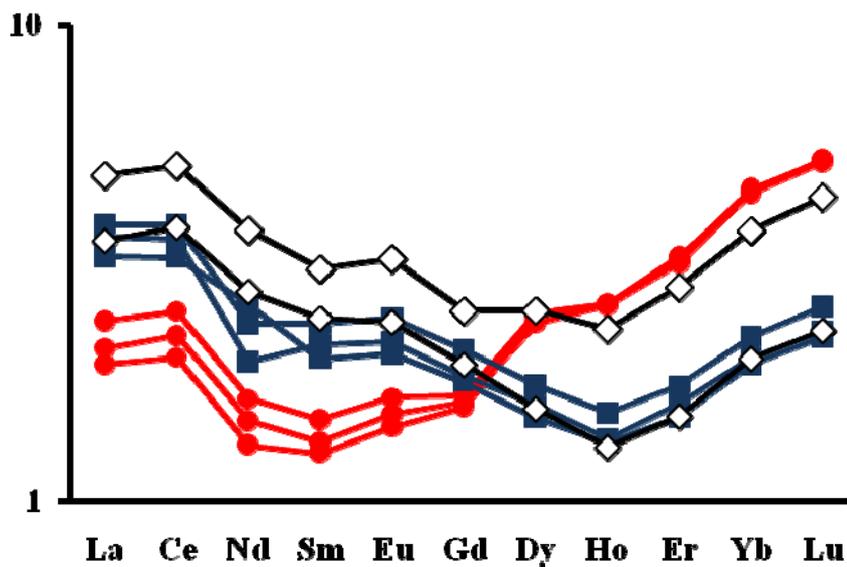
Figura 62 – Diagrama de correlação entre U/Zr (a), Hf/Zr (b) e Y/Zr (c) no perfil laterítico Jabuti.

As concentrações dos elementos terras raras são superiores às da crosta superior (Taylor & McLennan, 1981), principalmente das bauxita e na cobertura (Tabela 7 e Figura 63). Quando normalizados em relação aos condritos (Evensen *et al.* 1978) ocorre uma anomalia negativa de Eu. Já as razões La_N/Lu_N (entre 3 a 15 vezes) mostram enriquecimento acentuados dos terras raras leves, com valores mais altos na crosta e mais baixos na cobertura. O enriquecimento dos ETRL no Jabuti é menor do que na PA-256, mas a afinidade entre os horizontes persiste (Figura 64).

Tabela 7 - Concentração dos elementos terras raras em ppm no perfil laterítico Jabuti.

Horizonte/ elemento	COB* (1m)	COB* (2m)	COB* (3,5m)	CRO (topo)	CRO (Inter.)	CRO (base)	BX (topo)	BX (base)	CS	COND
La	58,2	62,9	71,8	108	98,30	114	105,5	144,8	30	0,24
Ce	128,5	142,5	160,3	227,6	208,5	242,9	240,2	323,6	64	0,64
Nd	34,2	38,4	42,6	51,2	49,2	44,9	39,6	96,3	26	0,47
Sm	5,69	5,99	6,67	9,64	8,99	10,62	10,89	13,82	4,5	0,15
Eu	1,26	1,34	1,45	1,90	1,80	2,14	2,09	2,84	0,88	0,06
Gd	6,01	6,11	6,32	6,95	6,77	7,92	7,35	9,53	3,8	0,20
Dy	8,58	8,28	8,68	5,56	5,25	6,14	5,47	8,79	3,5	0,25
Ho	2,07	2,06	2,08	1,08	1,06	1,23	1,04	1,84	0,8	0,06
Er	7,4	7,27	7,51	3,68	3,46	4,03	3,47	6,47	2,3	0,17
Yb	9,96	9,81	9,74	4,42	4,27	4,88	4,38	8,13	2,2	0,17
Lu	1,66	1,67	1,65	0,73	0,71	0,82	0,73	1,39	0,3	0,03

* Os números entre os parênteses indicam a profundidade de coleta. COB - cobertura argilosa; CRO - crosta; BX - bauxita; CS – crosta superior e COND – condritos.



Legenda
 ◇ Bauxita ■ Crosta ● Cobertura

Figura 63 – Curvas de distribuição dos ETR normalizados a crosta superior no perfil laterítico Jabuti.

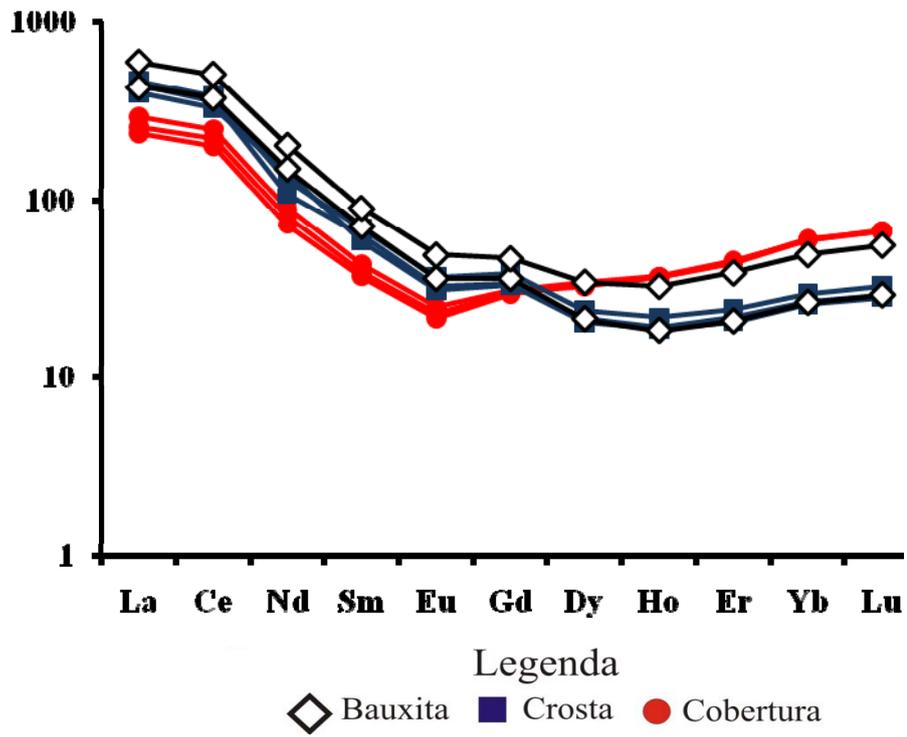


Figura 64 – Curvas de distribuição dos ETR normalizados aos condritos no perfil laterítico Jabuti.

5.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO PERFIL LATERÍTICO JURUTI

O perfil da Mina de Juruti é também constituído basicamente por SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , juntamente com a perda ao fogo (P.F.), são responsáveis por mais de 95% da composição química geral do perfil (Tabela 8 e Figura 65).

A bauxita e o horizonte nodular bauxítico são caracterizados pelos altos valores de Al_2O_3 (44,97% e 54,32%, respectivamente) e P.F. (22,6% e 28,5%, respectivamente) relatado a ocorrência de gibbsita, enquanto a cobertura argilosa tem teores similares de Al_2O_3 e SiO_2 devido à presença de caulinita, o seu principal mineral, quartzo e gibbsita. A crosta e o horizonte nodular ferruginoso contêm os valores mais elevados de Fe_2O_3 (51,9% e 62,33%, respectivamente). Já os valores de TiO_2 variam os teores desde 0,97% até 2,93% que corresponde ao anatásio. A composição química do perfil da mina de Juruti é similar aos perfis da região de Paragominas.

Tabela 8 - Composição química do perfil laterítico de Juruti.

Horizonte/ Componentes químicos	COB* 1,5m	COB* 3,5m	COB* 5,5m	COB* 7,5m	COB* 9,5m	COB* 12m	COB* 14m	COB* 16m	CONT	HNBXT	HNBXB	HNFT	HNFB	CRO	BX	MOSQ
SiO₂	36,37	37,48	36,67	37,69	34,96	37,75	36,79	37,77	16,79	11,64	9,8	15,54	7,66	1,04	7,39	24,88
TiO₂	2,93	2,92	2,87	2,91	2,71	2,84	2,79	2,87	1,64	1,56	1,56	1,34	1,15	0,97	1,9	1,93
Al₂O₃	34,1	34,75	34,33	35,41	32,86	35,41	34,41	35,41	52,21	54,32	52,09	23,6	17,08	29,35	44,97	40,26
Fe₂O₃	8,97	8,75	8,43	8,38	8,09	8,33	7,83	8,16	3,63	3,85	9,67	46,99	63,33	51,9	23,08	14,69
P₂O₅	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,02	0,02
P.F.	17,4	15,8	17,4	15,4	21,1	15,4	17,9	15,5	25,5	28,5	26,7	12,3	10,6	16,6	22,6	18,2
Total	99,81	99,74	99,74	99,82	99,75	99,76	99,75	99,74	99,79	99,88	99,84	99,8	99,86	99,9	99,96	99,98

* Os números entre os parênteses indicam a profundidade de coleta da amostra. COB - cobertura argilosa; CONT – Zona de contato entre a cobertura argilosa com o horizonte nodular bauxítico; HNBXT - horizonte nodular bauxítico topo; HNBXB – horizonte nodular bauxítico base; HNFT - horizonte nodular ferruginoso topo; HNFB – horizonte nodular ferruginoso base; CRO – crosta ferruginosa; BX – bauxita e MOSQ - mosqueado.

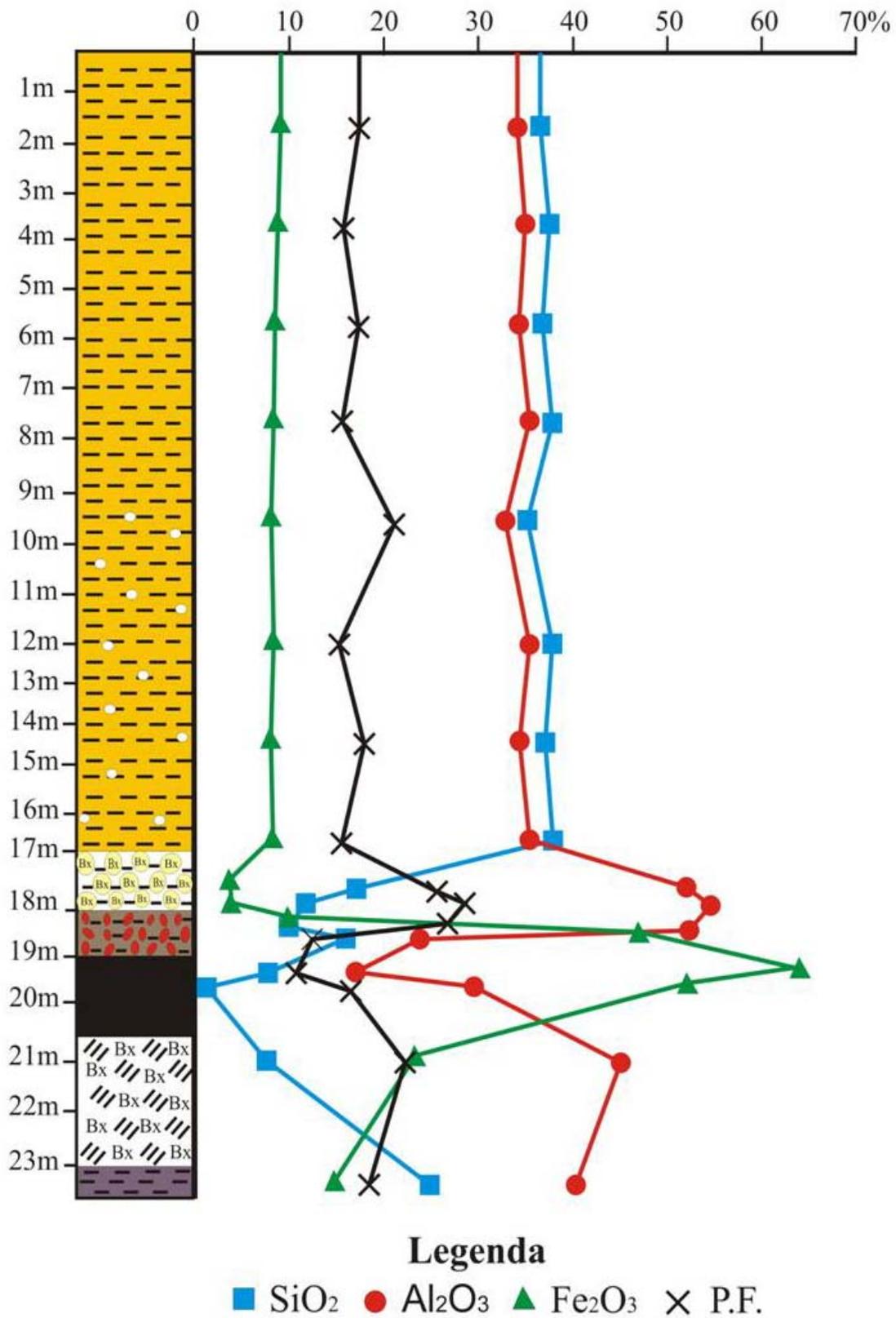


Figura 65 - Distribuição das concentrações dos óxidos SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ e perda ao fogo (P.F.) ao longo do perfil laterítico de Juruti.

Os elementos traços (Tabela 10 e 11) no perfil laterítico da Mina de Juruti ocorrem, de modo em geral, em teores inferiores aos perfis de Paragominas, provavelmente devido à diferença de composição química da rocha-mãe de Juruti (Formação Alter do Chão) e Paragominas (Formação Ipixuna e/ou Grupo Itapecuru). Os mais abundantes no perfil de Juruti são Zr (1234 ppm até 237 ppm), V (82 ppm até 1626 ppm) e Cr (110 ppm até 360 ppm). O Ga, Nb e Th encontram-se com concentrações entre 30 ppm e 90 ppm, enquanto os demais elementos apresentam concentrações abaixo de 30 ppm. Estes elementos quando comparados a média crustal (Taylor & McLennan, 1985), de modo geral, apresenta comportamento equivalente ao perfil da PA-256 e Jabuti.

Os elementos V, Mo, As, Pb e Cr concentra-se em geral nos horizontes mais ferruginosos como é o caso do horizonte nodular ferruginoso e na crosta similar aos perfis da PA-256 e Jabuti. Estes elementos têm uma correlação positiva com Fe_2O_3 (Figura 66), assim correlacionável a hematita e/ou goethita.

Os elementos Nb, Ta, Sn, Sr, W, Zr, Hf, U, e Y apresentam concentrações, em geral, que aumentam em direção a cobertura argilosa semelhante aos perfis lateríticos da região de Paragominas como descritos anteriormente, que mostram aumento nas suas concentrações da bauxita até a cobertura argilosa, com distribuição equivalente com a de TiO_2 , assim correlacionável com o anatásio, que se concentra na cobertura argilosa. Os elementos Nb, Ta, Sn, W e Sr são correlacionados positivamente com o TiO_2 (Figura 67), enquanto U, Hf e Y têm correlação positiva com Zr que indica estão presentes na estrutura do zircão (Figura 68).

Os elementos Ga, Cr, Cu, Th, Ni, Hg e Zn variam irregularmente ao longo do perfil. O padrão irregular do gálio no perfil da Juruti é diferente do padrão da PA-256 que se encontra associado com Al_2O_3 e Jabuti correlacionado com o Fe_2O_3 . A dissolução da caulinita e a gibbsita coloca o Ga em solução, sendo retido parcialmente pelo óxi-hidróxido de ferro que constituem a crosta e os nódulos ferruginosos (Hieronymus *et al.* 2001, Larrizzatti & Oliveira, 2005). Por sua vez Cr, Ni e Cu estão correlacionados com e podem estar na estrutura dos óxi-hidróxidos de ferro.

Tabela 9 - Concentração de elementos traços do perfil laterítico de Juruti.

Elementos	COB* (1,5m)	COB* (3,5m)	COB* (5,5m)	COB* (7,5m)	COB* (9,5m)	COB* (12m)	COB* (14m)	COB* (16m)	CONT	HNBXT	HNBXB	HNFT	HNFB	CRO	BX	MOSQ	MC
Ba	11	10	9	8	8	8	6	7	7	8	66	49	58	4	6	3	668
Co	0,6	0,5	0,7	0,5	0,6	0,6	0,8	0,7	0,6	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	1,4	11,6
Cr	140	140	140	140	140	140	130	130	200	110	160	460	360	230	160	160	50
Ga	65,6	65,5	65,9	66,0	61,4	63,5	61,6	66,0	66,1	56,1	56,8	67,6	51,0	41,5	57,7	58,8	14
Hf	30,0	30,6	32,0	31,0	29,2	30,7	29,5	34,7	34,1	20,4	19,8	18,9	15,7	16,2	10,9	9,3	5,8
Nb	71,1	70,2	69,7	69,5	65,5	70,0	67,6	71,7	73,2	37,2	37,5	32,1	25,9	24,3	45,6	45,1	26
Rb	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	26
Sc	15	16	16	16	15	15	15	16	10	10	13	23	16	12	9	9	7
Sn	11	10	10	10	9	10	9	11	10	5	6	7	5	4	8	8	2,5
Sr	15,1	13,3	12,5	12,4	11,4	11,0	9,8	10,5	11,1	4,3	5,4	4,1	3,4	2,7	2,1	1,5	316
Ta	4,9	4,8	4,6	4,7	4,6	4,7	4,5	4,8	4,9	2,2	2,6	1,8	1,7	1,6	3,0	3,0	1,5
Th	63,2	56,8	60,4	60,4	58,6	58,7	58,1	59,0	58,8	35,0	37,0	76,1	68,0	45,4	30,0	26,2	10,3
U	5,2	5,1	5,0	5,2	5,0	4,8	5,1	5,0	4,9	3,0	3,0	2,6	2,4	2,3	2,9	3,0	2,5
V	168	163	159	161	152	152	150	156	154	82	190	990	1626	1021	548	372	53
W	6,3	6,2	6,5	6,3	5,8	5,9	6,6	6,1	6,3	3,5	3,4	4,5	3,5	2,6	4,7	4,8	1,4
Y	27,8	26,2	25,0	29,6	26,4	24,5	24,6	24,8	24,5	13,1	13,2	12,6	12,3	11,1	10,4	10,6	20,7
Zr	1065,8	1097,6	1101,5	1121,9	1044,2	1123,3	1044,5	1219,9	1234,1	760,6	720,7	677,7	602,9	587,7	381,4	308,8	237
Ag	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,2	0,9	0,6	0,2	0,1	0,1	0,06
As	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	1,4	7,7	38,2	28,7	19,7	4,3	1,1	2

* Os números entre os parênteses indicam a profundidade de coleta da amostra. COB: cobertura argilosa; CONT – contato entre o solo com o horizonte nodular bauxítico; HNBXT - horizonte nodular bauxítico topo; HNBXB – horizonte nodular bauxítico base; HNFT - horizonte nodular ferruginoso topo; HNFB – horizonte nodular ferruginoso base; CRO – crosta ferruginosa; BX – bauxita; MOSQ – mosqueado e MC: média crustal.

Tabela 10 - Continuação da concentração de elementos traços do perfil laterítico de Juruti.

Elemento	COB* (1,5m)	COB* (3,5m)	COB* (5,5m)	COB* (7,5m)	COB* (9,5m)	COB* (12m)	COB* (14m)	COB* (16m)	CONT	HNBXT	HNBXB	HNFT	HNFB	CRO	BX	MOSQ	MC
Bi	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,3	2,2	1,7	1,0	0,7	0,6	0,12
Cu	1,0	1,1	2,6	0,7	1,4	0,8	1,1	0,8	0,5	3,2	1,8	7,2	3,3	2,4	0,9	1,5	14,3
Hg	0,20	0,23	0,22	0,08	0,22	0,06	0,06	0,05	0,38	0,22	0,31	0,47	0,38	0,12	0,10	0,02	0,06
Mo	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	2,0	11,7	10,6	6,3	1,6	1,0	1,4
Ni	0,3	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,8	0,7	0,4	0,5	0,4	0,4	0,3	0,1	0,1	0,6	18,6
Pb	1,1	1,0	1,0	0,8	0,9	0,8	0,6	0,7	0,3	0,5	1,3	27,8	41,6	24,4	9,4	6,1	17
Sb	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	1,3	1,2	1,1	0,3	0,1	0,31
Se	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	3,8	13,4	12,2	1,4	0,5	0,08
Zn	2	2	2	2	2	2	2	1	1	4	24	20	27	2	2	1	52

* Profundidade de coleta. COB – Cobertura argilosa; CONT – contato entre a cobertura argilosa com o horizonte nodular bauxítico; HNBXT - horizonte nodular bauxítico topo; HNBXB – horizonte nodular bauxítico base; HNFT - horizonte nodular ferruginoso topo; HNFB – horizonte nodular ferruginoso base; CRO- crosta ferruginosa; BX – bauxita; MOSQ – mosqueado e MC- média crustal.

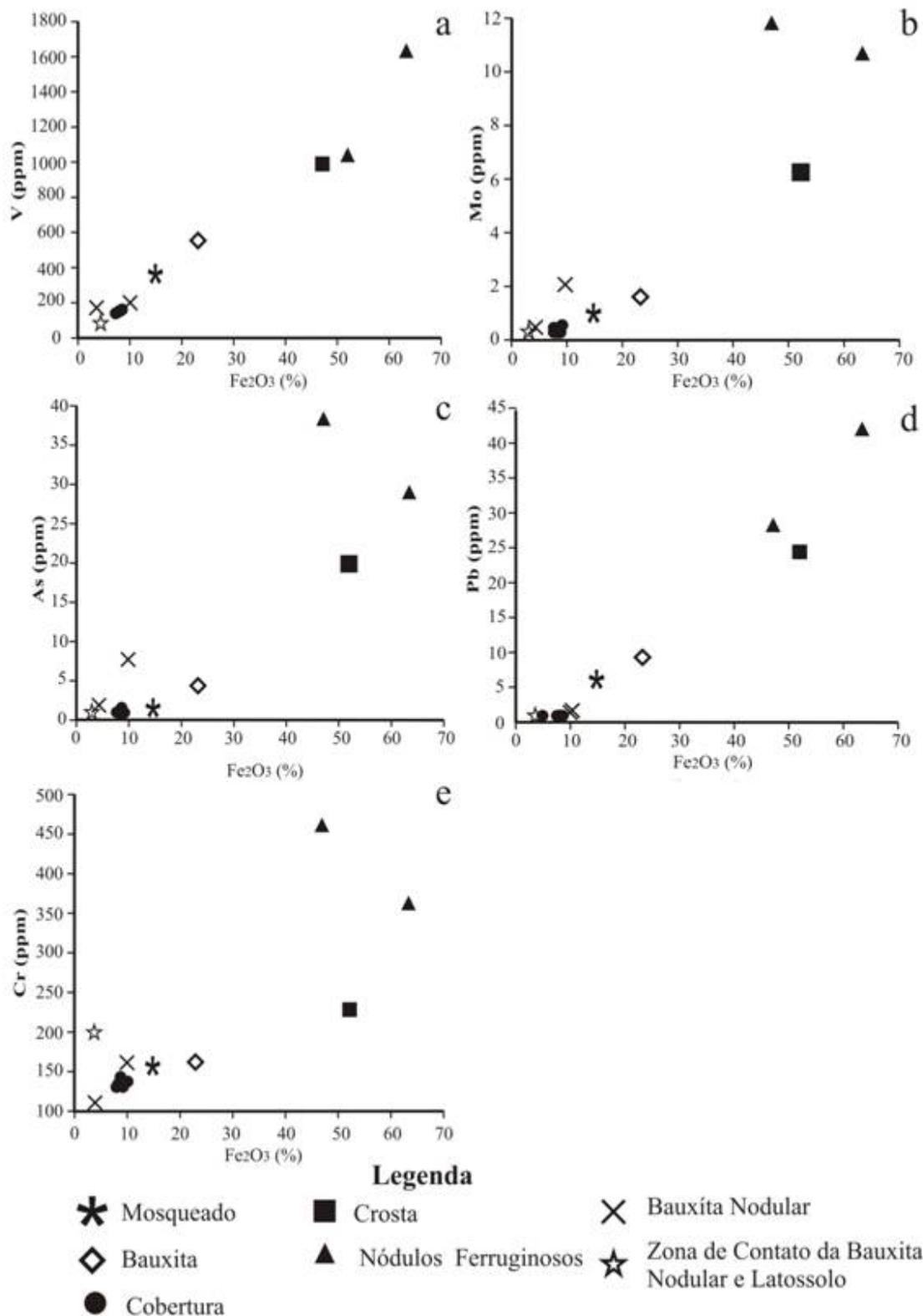


Figura 66 – Diagramas de correlação entre Fe_2O_3/V (a), Fe_2O_3/Mo (b), Fe_2O_3/As (c), Fe_2O_3/Pb (d) e Fe_2O_3/Cr (e) no perfil laterítico Juruti.

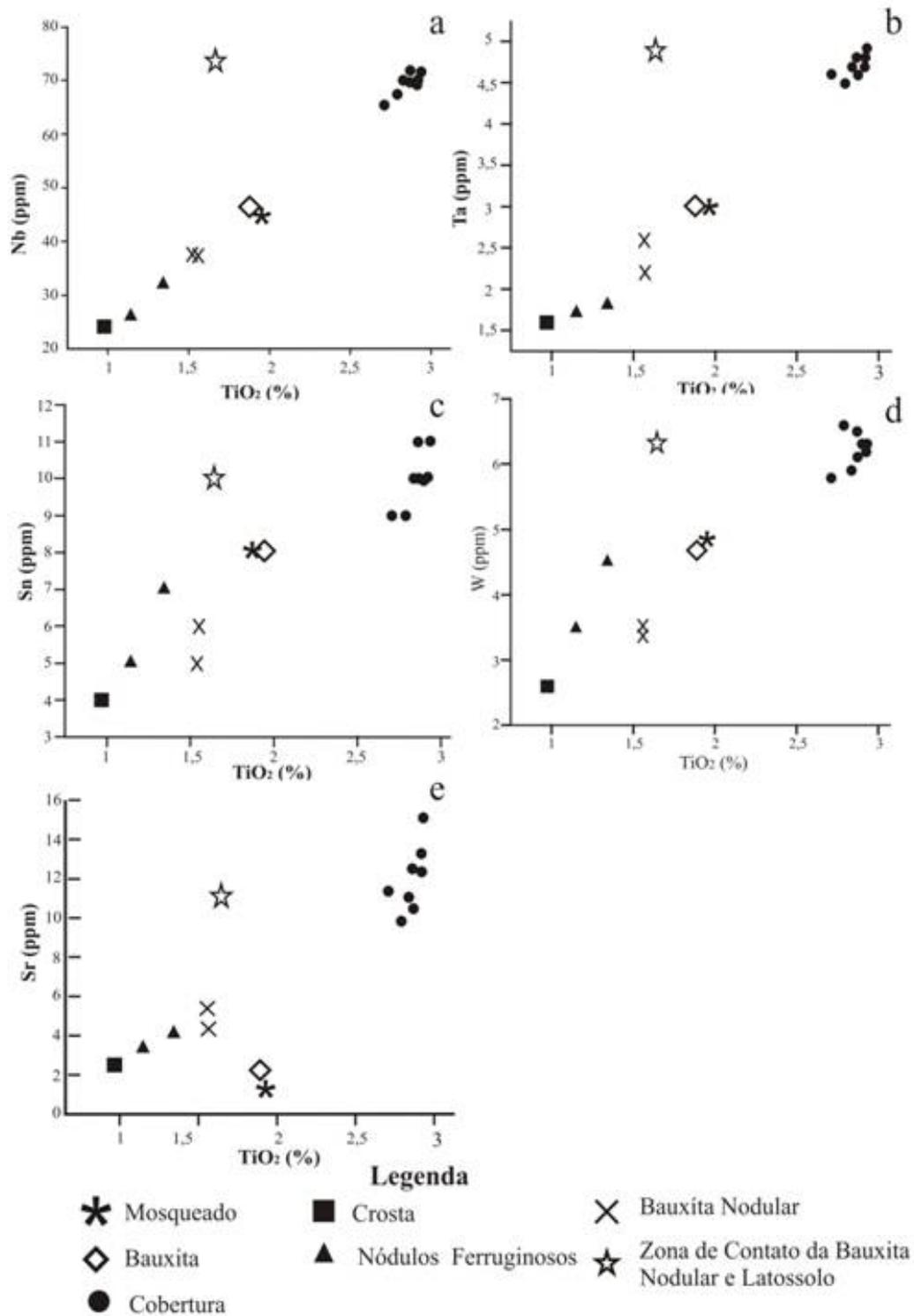


Figura 67 – Diagramas de correlação entre TiO₂/Nb (a), TiO₂/Ta (b), TiO₂/Sn (c), TiO₂/W (d) e TiO₂/Sr (e) no perfil laterítico Juruti.

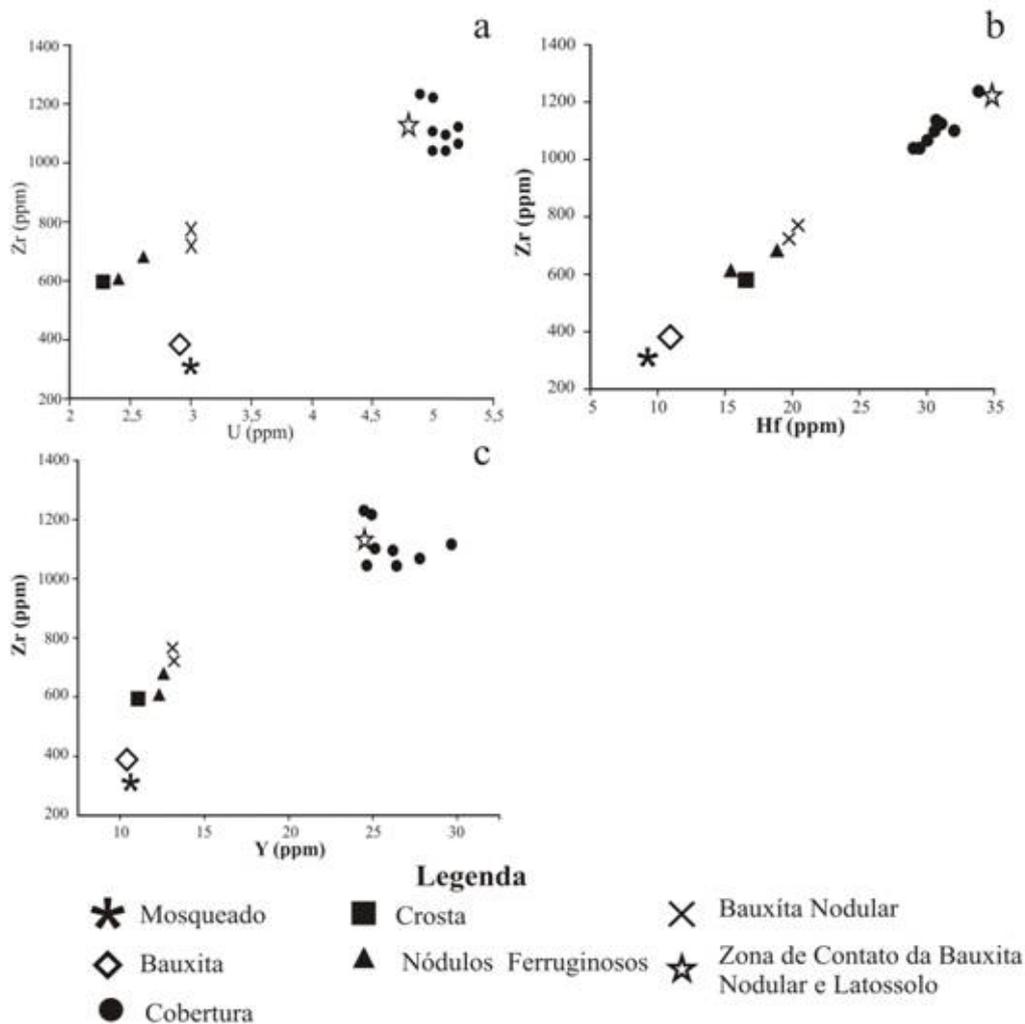


Figura 68 – Diagrama de correlação entre U/Zr (a), Hf/Zr (b) e Y/Zr (c) no perfil laterítico Juruti.

Os elementos terras raras (Tabela 11) La, Ce, Nd, Sm, Eu e Gd mostram concentrações abaixo da crosta superior (Figura 69) (Taylor & McLennan, 1981), enquanto Dy, Ho, Er, Yb e Lu oscilam entre valores ligeiramente acima e abaixo, portanto distinto daqueles dos perfis de Paragominas. As concentrações mais elevadas foram observadas na cobertura argilosa. Se normalizados aos condritos (Evensen *et al.* 1978) mostram anomalia negativa acentuada em Eu e um padrão na forma de V devido ao acentuar enriquecimento dos ETR mais leves (La e Ce), como em ETR pesados (Yb e Lu), e depressão acentuada no intervalo de Nd, Sm, Eu e Gd, deste modo distinto dos perfis de Paragominas que apresentam padrão assimétrico na forma de U devido ao enriquecimento marcante do ETR mais leves (La e Ce) enquanto os ETR pesados têm um leve enriquecimento. Contudo, o paralelismo entre as curvas permanece (Figura 70).

Tabela 11 - Concentração de elementos terras raras do perfil laterítico de Juruti.

Elem.	COB* (1,5m)	COB* (3,5m)	COB* (5,5m)	COB* (7,5m)	COB* (9,5m)	COB* (12m)	COB* (14m)	COB* (16m)	CONT	HNBXT	HNBXB	HNFT	HNFB	CRO	BX	MOSQ	CS	COND
La	10,9	10,3	10,3	9,6	8,8	9,1	8,4	8,6	8,6	4	3,8	4,6	3,8	3,8	3,8	3,3	30	0,24
Ce	21,7	20,9	19,7	18,8	18,5	18,2	16,7	17,6	17,8	8,3	7,8	8	7,3	6,4	6,6	6,2	64	0,64
Nd	7,3	7,1	7,1	6,6	6	5,8	5,8	6,2	6	2,8	3	2,4	2	1,8	1,6	1,8	26	0,47
Sm	1,67	1,52	1,54	1,49	1,34	1,35	1,4	1,39	1,36	0,69	0,67	0,7	0,6	0,53	0,48	0,48	4,5	0,15
Eu	0,38	0,36	0,37	0,36	0,33	0,32	0,32	0,33	0,31	0,17	0,16	0,15	0,15	0,12	0,13	0,13	0,88	0,06
Gd	2,08	1,9	2,07	2,16	1,95	1,85	1,82	1,87	1,85	0,91	0,96	0,97	0,93	0,8	0,84	0,79	3,8	0,20
Dy	3,85	3,65	3,61	4,11	3,62	3,44	3,51	3,45	3,32	1,88	1,73	1,88	1,75	1,47	1,47	1,52	3,5	0,25
Ho	0,94	0,89	0,86	1,03	0,91	0,86	0,84	0,85	0,81	0,45	0,45	0,47	0,41	0,35	0,38	0,38	0,80	0,06
Er	3,51	3,09	3,1	3,63	3,2	3,03	3,06	3,1	2,91	1,63	1,62	1,59	1,5	1,28	1,26	1,3	2,3	0,17
Yb	4,41	4,28	4,27	4,84	4,31	4,12	4,12	4,25	4,11	2,31	2,34	2,17	2,07	1,82	1,75	1,71	2,2	0,17
Lu	0,74	0,71	0,72	0,81	0,72	0,69	0,69	0,7	0,7	0,4	0,39	0,37	0,34	0,31	0,3	0,28	0,3	0,03

* Os números entre os parentes indicam a profundidade de coleta da amostra. COB - cobertura argilosa; CONT – contato entre o solo com o horizonte nodular bauxítico; HNBXT - horizonte nodular bauxítico topo; HNBXB – horizonte nodular bauxítico base; HNFT - horizonte nodular ferruginoso topo; HNFB – horizonte nodular ferruginoso base; CRO – crosta ferruginosa; BX – bauxita; MOSQ – mosqueado, CS – crosta superior e COND - condrito.

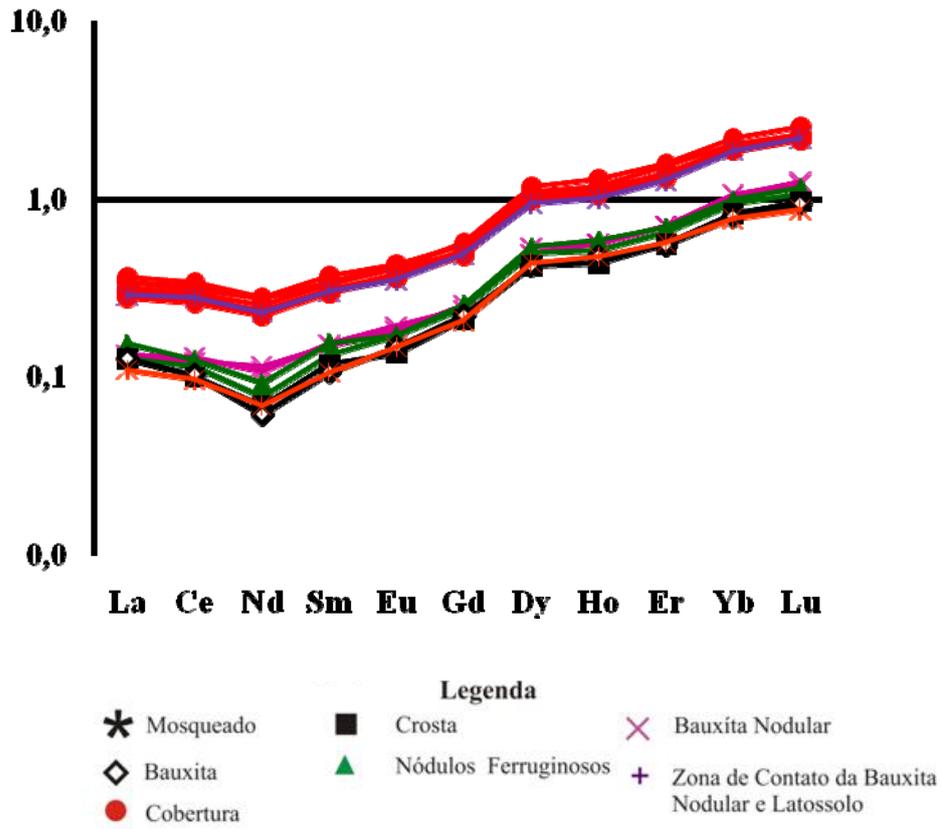


Figura 69 – Curva de distribuição dos ETR normalizados a crosta superior no perfil laterítico Juruti.

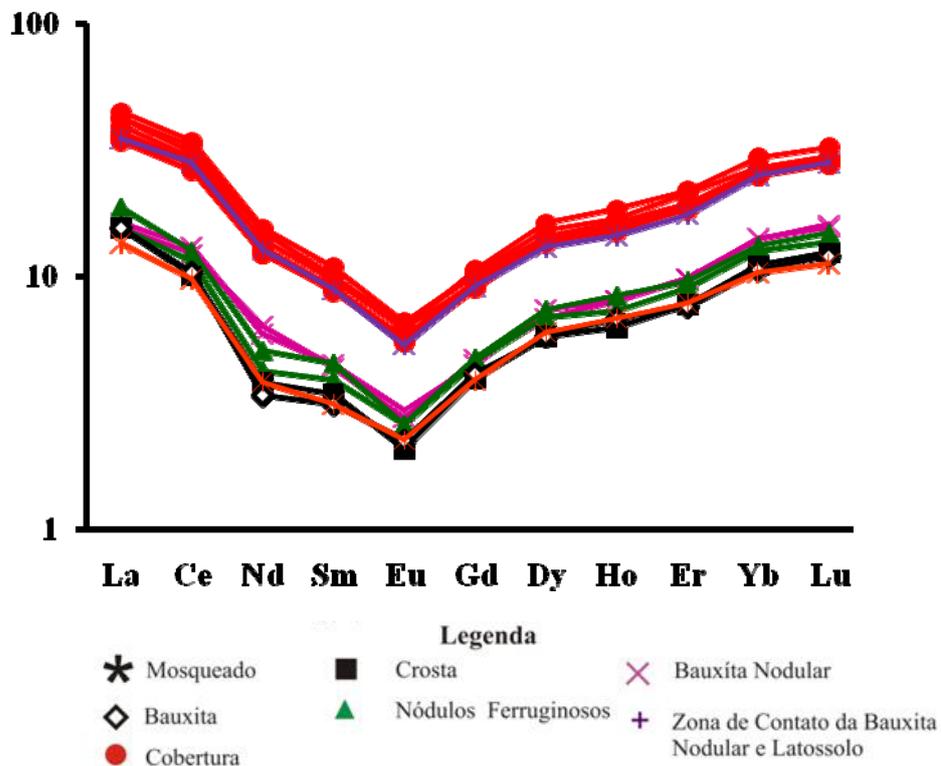


Figura 70 – Curva de distribuição dos ETR normalizados aos condritos no perfil laterítico Juruti.

6 DISCUSSÕES

A composição química mineralógica e as características estruturais e texturais bem como as relações de contato sugerem para os perfis estudados uma alteração e evolução complexa envolvendo processos físicos e químicos. Esta evolução é formada pelas seguintes etapas: formação da crosta, bauxitização, fragmentação e desmantelamento da crosta, seguida de uma nova bauxitização e por fim formação da cobertura argilosa (figura 71).

A crosta de alguns perfis lateríticos da Amazônia é datada entre 65 e 70 Ma (Ruffet *et al.* 1996, Vasconcelos *et al.* 1996). Assim a formação das crostas de Paragominas, no caso da PA-256 e Jabuti, ocorreu entre o Cretáceo Superior e o Paleoceno com a lateritização dos sedimentos siliciclásticos do Grupo Itapecuru e/ou Formação Ipixuna na Amazônia Oriental (Góes 1995, Kotschoubey & Truckenbrodt 1981). Enquanto aqueles encontrados na Bacia do Amazonas foram gerados a partir da Formação Alter do Chão como em Juruti (Fernandes Filho 1996, Boulangé & Carvalho 1997, Lucas 1997). Todas estas crostas foram bauxitizadas no final do Eoceno – início do Oligoceno (Truckenbrodt *et al.* 1982, Aleva 1984, Théveniaut & Freyssinet 1999, 2002).

A mudança para um clima mais chuvoso, a hidrólise e a lixiviação de elementos mais solúveis, como o alumínio, formando a matriz aluminosa criptocristalina e microcristalina, em seguida a gibbsita macrocristalina precipitou nas cavidades da crosta (Kotschoubey *et al.* 2005b).

A fragmentação da crosta é marcada pela ocorrência do padrão colunar no perfil Jabuti; fragmentos concrecionários e mesmo padrão colunar no perfil laterítico PA-256; horizonte nodular no perfil de Juruti. Estas estruturas são indicadoras da degradação química da crosta provocada pelas mudanças climáticas de ambiente seco para úmido com cobertura de floresta (Nahon 1991, Tardy 1993, Calaf 2000, Kotschoubey *et al.* 2005a). A cominuição dos fragmentos concrecionários em Paragominas (PA-256) e a granodecrescência dos nódulos em Juruti são típicos de processo de degradação e desagregação da crosta (Tardy 1993, Horbe & Costa 1999).

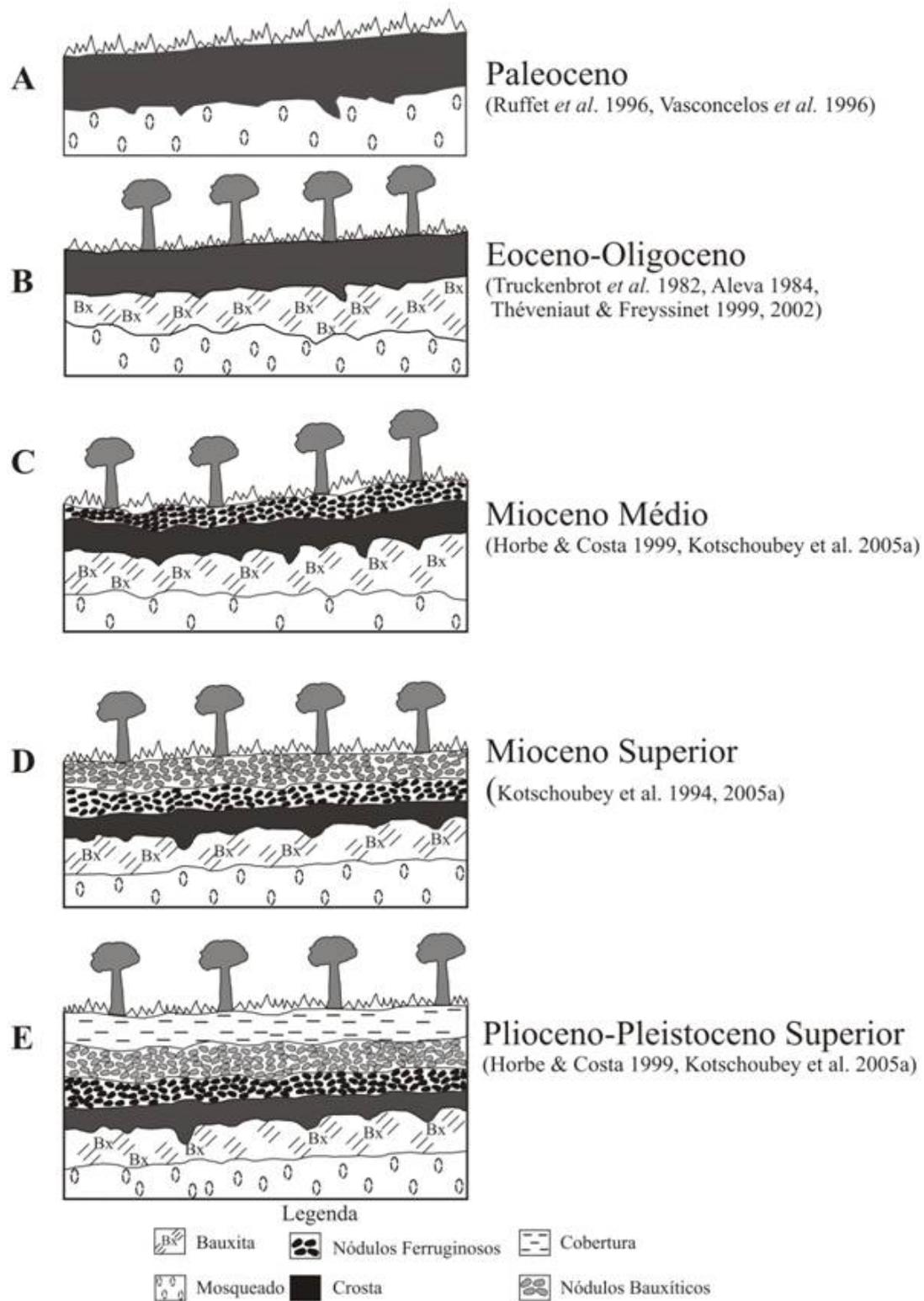


Figura 71 – Esquema da formação do perfil laterítico bauxítico ressaltando as fases de evolução: formação da crosta (A), bauxitização (B), dismantelamento da crosta (C), bauxitização dos nódulos (D) e formação da cobertura argilosa (E).

O horizonte concrecionário e nodular seria formado a partir da degradação física da crosta *in situ*, por meio de processo polifásico envolvendo dissolução e reprecipitação praticamente *in situ* dos oxi-hidróxidos de ferro e levando progressivamente a modificações texturais e à diminuição da porosidade (Kotschoubey *et al* 2005b). Segundo Horbe & Costa (1999) e Kotschoubey *et al.* (2005a) esta degradação ocorreu no Mioceno Médio, porém Larizzatti & Oliveira (2005) sugerem o Plioceno. As partículas concrecionárias no caso da PA-256 podem sofrer intemperismo físico e deslocamento de material para as porções mais rebaixadas por fluxo de massa, mas não relacionado a processos sedimentares (Truckenbrodt *et al* 1991 e Horbe 1995).

A parte superior do horizonte concrecionário e nodular por suas características mineralógicas e químicas sugerem modificação com desferrificação sob ambiente redutor, pantanoso e podzólico controlado pela acumulação da matéria orgânica relativamente favorável a este processo que resulta na desferrificação dos fragmentos nodulares em Juruti e zoneamento nos fragmentos concrecionários da PA-256 e, além disso, enriquecimento relativo em alumina da matriz argilosa e dos resíduos argilosos da degradação das concreções (Kotschoubey *et al.* 1994 e 2005b). Assim este processo resultaria no enriquecimento em gibbsita por lixiviação dos oxi-hidróxidos de ferro (Kotschoubey *et al.* 1997 e 2005b). Esta fase de bauxitização teria ocorrido no Mioceno Superior (Kotschoubey *et al.* 1994, 2005a).

Por outro lado, esta fase da bauxitização dos nódulos e concreções talvez estivesse correlacionada com a fase de lateritização sugerida no final do Mioceno na Serra dos Carajás por Vasconcelos *et al.* (1994), através de datações radiométricas, e na Guiana Francesa e Suriname por Théveniaut & Freyssinet (2002), por meio de métodos paleomagnéticos.

A formação da cobertura argilosa é atribuída aos efeitos conjugados de umidade, ação biológica e consequente decomposição da matéria orgânica, com produção de ácidos orgânicos sobre a crosta (Horbe, 1995). Esses efeitos, mais intensos quanto mais próximos da superfície, levam a decréscimo no pH e Eh (Bardossy & Aleva 1990). A espessura do perfil da cobertura argilosa vai depender da espessura da crosta, da taxa de lixiviação, do clima, dos processos erosivos e de inversão do relevo superimpostos e do tempo geológico (Horbe, 1995). Por sua vez, as grandes espessuras das coberturas argilosas que ocorrem tanto nas encostas dos platôs como no seu topo podem estar relacionadas aos processos neotectônicos através de preenchimento de depressões formadas por falhamentos e/ou ao próprio processo

de desagregação da crosta pela atuação do intemperismo com geração da cobertura argilosa de forma friável e porosa com aumento considerável do volume (Truckenbrodt *et al.* 1991; Fernandes Filho 1996; Horbe & Costa 1997, 1999)

O aumento no teor de Al_2O_3 da cobertura argilosa é devido à maior abundância de caulinita em detrimento da hematita nas crostas, enquanto que gibbsita predomina no horizonte bauxítico e nodular bauxítico. Esse padrão de degradação de crostas e formação da cobertura argilosa é similar ao descrito na África (Beavauis & Tardy 1993, Beavauis & Colin 1993, Tardy 1993) e aqueles anteriormente descritos na Amazônia (Boulangé & Carvalho 1997, Lucas 1997, Kotschoubey *et al.* 1999).

A presença de caulinita em fissuras e fraturas dos nódulos de Juruti e concreções em Paragominas indica que a caulinita foi formada durante a degradação dos nódulos aluminosos ou ferruginosos (Horbe 1995, Horbe & Costa 1997). A neoformação de caulinita a partir da dissolução de gibbsita em ambientes ricos em sílica provenientes do quartzo herdado da crosta (Tardy 1993, Horbe & Costa 1999, Larizzatti & Oliveira 2005) ou ainda via aporte externo pela decomposição de material vegetal (Lucas 1988, Lucas *et al.* 1993).

Esse processo pode se desenvolver em fissuras e fraturas, onde a circulação de soluções é mais abundante e a ação dos ácidos orgânicos, tendem a dissolver a gibbsita, enquanto os grãos de quartzo foram dissolvidos de forma mais lenta seja em quaisquer condições naturais, a eliminação deste material no perfil laterítico exigiu longo tempo de exposição sobre as águas percolantes (Kotschoubey *et al.* 2005).

A lenta mobilização de SiO_2 foi incapaz de impedir a formação da gibbsita nas fraturas e fissuras. Este fato é mostrado pela presença de cristais bem formados e maclados de gibbsita em contato direto com os vestígios de grãos de quartzo nos nódulos localizados na cobertura argilosa (Kotschoubey *et al.* 2005b). A instabilidade da gibbsita e a presença de grãos de quartzo na cobertura argilosa de Juruti e Paragominas estão relacionados à podzolização incipiente das coberturas argilosas anteriormente descritas na Amazônia (Horbe 1995, Horbe & Costa 1997 e Kotschoubey *et al.* 2005b).

Em nível de elementos traços, a transformação da crosta até a cobertura argilosa leva ao aumento na concentração de Zr como zircão em todos os perfis, sendo acompanhado, por Nb, Ta, Sr e Sc como anatásio, e pela diminuição dos demais elementos traços associado com

Fe₂O₃ (V, Mo, As, Pb e Cr), que inicialmente como hematita na crosta é intemperizada, e apenas parte do ferro se precipita como Al-goethita (Tengoua *et al.* 2003). O comportamento desses elementos é similar na formação das coberturas argilosas residuais observadas por Leconte & Colin (1989), Beauvais & Tardy (1993), Horbe (1991 e 1995), Horbe & Costa (1999 e 2005).

Este comportamento do Zr é similar nos perfis lateríticos da Amazônia estudados por Horbe (1995) e Horbe & Costa (1999 e 2005). Nota-se então que há atenuação na assinatura geoquímica das crostas para as coberturas argilosas, de modo que a cobertura argilosa diferencia-se cada vez mais destas, assemelhando-se ao observado por Tardy (1993), Horbe (1995) e Horbe & Costa (1997, 1999 e 2005), entre a composição desta crosta e do horizonte argiloso sotoposto em perfis autóctones. As coberturas argilosas geradas são geoquimicamente diferentes entre si.

A transformação do perfil laterítico em cobertura argilosa é fortemente controlado pelas bauxitas, crostas, horizontes nodulares, horizonte concrecionário. A cobertura argilosa mostra forte afinidade mineralógica e geoquímica, por exemplo, a distribuição dos elementos traços e ETR em todos os perfis estudados (Horbe 1995; Boulangé & Carvalho 1997; Lucas 1997).

O horizonte nodular de Juruti e concrecionário de Paragominas (PA-256) são produtos derivados *in situ* da progressiva transformação de crostas lateríticas pelo intemperismo tropical similar aquele observado na transformação da rocha-mãe, saprólito e horizonte mosqueado (Truckenbrodt *et al* 1991 e Tardy 1993). Este processo decresce os teores de gibbsita em direção ao topo, enquanto a caulinita, quartzo aumenta na outra mão, estas mudanças mineralógicas não modificam o padrão de elementos traços e ETR para as crostas lateríticas. Estes produtos intempéricos como ocorrem nestes horizontes são típicos de um perfil de intemperismo tropical clássico e bem desenvolvido (Tardy 1993; Horbe 1995; Boulangé & Carvalho 1997; Kotschoubey *et al* 1999; Horbe & Costa 1999 e 2005).

O aumento da caulinita, quartzo e SiO₂ ascendente e o padrão similar dos elementos traços e ETR na crosta, concreções, nódulos e cobertura argilosa indica um processo de transformação *in situ* em um fraco ambiente intempérico. Nestas características pode-se concluir que a cobertura argilosa, horizonte nodular e o horizonte concrecionário são produtos

da degradação de crosta laterítica em resposta a alternância do clima quente e úmido durante o Cenozóico em ambiente tropical que foi estabelecido nestas crostas.

7 CONCLUSÕES

Os perfis lateríticos investigados desenvolveram-se sobre rochas sedimentares siliciclásticas da Formação Ipixuna e/ou Grupo Itapecuru nas áreas da rodovia PA- 256 e do Platô Jabuti, enquanto na frente de lavra da mina de Juruti da Formação Alter do Chão. Os perfis em geral se equivalem em termos de sucessão de horizontes, compreendendo da base para o topo de: horizonte saprolítico, horizonte bauxítico, crosta ferro-aluminosa, horizonte nodular e/ou concrecionário ferruginoso seguido por nódulos e/ou concreções gibbíticas e, por fim, a cobertura argilosa (Argila de Belterra). Esta estruturação, principalmente a partir do horizonte bauxítico mostra crescente no grau de desagregação química e física, marcada pela fragmentação da crosta, pela presença das concreções e/ou nódulos e a quase total cominuição dos fragmentos concrecionários e/ou nodulares no topo em um típico processo granodescrescente, culminando com a cobertura, predominantemente argilosa. Esses aspectos reforçados pelos texturais como a presença da crosta compacta na base e pisolítica a nodular na porção intermediária do perfil, o contato difuso entre os nódulos, além da corrosão nos cristais de gibbsita sugere a decomposição da gibbsita e hematita com neoformação de caulinita e Al-goethita, que representa uma forte mudança de coloração de rosa e vermelha para amarelo ocre, genericamente uma desferrificação. Este processo de desferrificação é típico no zoneamento das concreções entre a porção vermelha, amarela e branca no perfil PA-256, assemelhando-se a transformação das crostas ferruginosas avermelhadas para ocre. Em Juruti e Jabuti observa-se auréola de alteração nos nódulos.

A filiação geoquímica entre bauxita, crosta, horizonte nodular e/ou concrecionário até a cobertura argilosa é ressaltada pelo padrão de distribuição dos elementos traços (inclusive ETR). Pb, V, As e Mo mostram afinidade com oxi-hidróxidos de ferro, enquanto Nb, Ta, W, Sn e Sc com anatásio. No caso Zr, Hf, Y e U têm com zircão e Ga apenas com gibbsita, embora este último não seja tão categórico.

As concreções, nódulos e cobertura argilosa representam degradação *in situ* por ação de intemperismo químico, porém erodidos transportados a curta distância sob clima tropical com período de mudanças drásticas, promovendo intensa atividade erosiva e deslocamento gravitacional (Beauvais & Colin, 1993, Horbe & Costa 1999), principalmente no que concerne a formação da Argila de Belterra. A Argila de Belterra apresenta sensível assinatura mineralógica e geoquímica com as bauxitas sotopostas e ainda o horizonte saprolítico. O

aumento dos conteúdos de caulinita indica uma ressilicificação do ambiente, possível contribuição da intensa atividade vegetal durante longa permanência de clima tropical chuvoso.

REFERÊNCIAS

- Aleva, G.J.J. 1981. **Essential differences between the bauxite deposits along the Southern and Northern edges of the Guiana Shield, South America.** *Economic Geology*. Vol. 16, pág. 1142-1152.
- Aleva, G.J.J. 1984. **Lateralization, bauxitization and cyclic landscape development in the Guiana Shield.** In: 1984 Bauxite Symp., Los Angeles, U.S.A. Proceedings... Jacob Ed. P. 297-318.
- Bardossy G., ALEVA G.J.J. 1989. **The Amazon Basin.** *Travaux ICSOBA*, Vol. 19, pág. 455-458.
- Baleé, W. 1989. **The culture of Amazonian Forests.** *Advances in Economy Botanic*. Vol. 7. Pág 1- 21.
- Baleé, W. 1993. **Biodiversidade e os índios Amazônicos.** In: E. Viveiros de Castro e M. Carneiro da Cunha (org.). *Amazônia, Etnologia e História Indígena*. São Paulo. Universidade de São Paulo, FAPESP, pág. 385-394.
- Barbosa, G.V. 1973. Projeto RADAM – Programa de Levantamentos de Recursos Naturais. Teresina Folha SB 23.
- Beauvais, A., Colin, F., 1993. **Formation and transformation processes of iron duricrust systems in tropical humid environment.** *Chemical Geology*. Vol. 106, 77–101.
- Beauvais, A. Tardy, Y. 1993. **Degradation and dismantling of iron crust under climatic changes in Africa Central.** *Chemical Geology*. Vol. 107, pág 277-288.
- Boulangé, B. Carvalho, A. 1997. **The bauxite of Porto de Trombetas.** In: Carvalho A.,
- Boulangé B., Melfi A.J., Lucas Y. (eds.) *Brazilian Bauxites*. São Paulo, USP/FAPESP/ORSTOM, p.107-133.
- Calaf, J.M.C. 2000. **Evolução geológica no Cenozóico da região entre Açailândia (MA) e Ligação (PA).** Dissertação de Mestrado, Centro de Geociências, UFPA, 112 p.
- CENEC, 2002. **Relatório de Impactos Ambientais.** Projeto Juruti, Pará-Brasil. Omnia Minérios.
- Correa, S. L. A. **Evolução Geoquímica das crostas lateríticas e dos sedimentos sobrepostos na estrutura de Seis Lagos (Amazonas).** Tese de doutorado. Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 212p.
- Costa, M.L. 1991. **Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia.** *Revista Brasileira de Geociências*. Vol. 21 (3), pág. 146-160.

- Costa, M.L. 2007, **INTRODUÇÃO AO INTEMPERISMO LATERÍTICO E À LATERITIZAÇÃO**. In: Bandeira et al. (2007) (orgs.) – Prospecção geoquímica. Sociedade Brasileira de Geoquímica – SBGq, Rio de Janeiro. p. 299-344.
- Costa, M.L. 2009, **Lateritization events throughout the Earth History**. In: XI Simpósio de Geologia da Amazônia, Amazonas. Cd Digital.
- Costa, M.L.; Horbe M.A; Horbe A.M.C; Teixeira J.T; Costa W.A.M. 1988. **A região laterítica bauxítica do Pitinga-AM**. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 35, Belém, Resumos, vol. 1, pág. 22-26.
- Costa, M. L. Angélica, R. S. Araújo, E. S. Horbe, A. M. C. **Abundância e Fracionamento dos Elementos Terras Raras Em Lateritos Maduros (Crosta Ferro - Aluminosas e Aluminosas) da Amazônia**. In: 3 CONG. BRAS. GEOQUIMICA/ 1 CONG. GEOQ. PAISES L. PORTUGUESA, 1991, SÃO PAULO. Resumos... São Paulo, SBGq, 2. SAO PAULO, 1991. p. 651-653.
- Cunha, P.R.C., Gonzaga, F.G., Coutinho, L.F.C., Feijo, F.J., 1994. Bacia do Amazonas. Boletim de Geociências da PETROBRAS. Vol. 8, pág. 47– 55.
- Dennen, W.H. & Norton, H.A. 1977. **Geology and geochemistry of bauxite deposits in the Lower Amazon basin**. *Economic Geology*, Vol. 72, pág 82-89.
- Evensen, N.M., Hamilton, P.J., O’Nions, R.K., 1978, **Rare earth abundances in chondritic meteoritic**. *Geochemical Cosmochimica Acta* Vol. 42, pág. 1199-1212.
- Góes A.M. 1995. **A Formação Poti (Carbonífero inferior) da bacia do Parnaíba**. Tese de doutorado, Inst. Geociências, USP, 171 p.
- Gonçalves. D. F., Rossetti, D.F., Truckenbrodt, W. Mendes, A. C. 2006. **Argilominerais da Formação Codó (Aptiano Superior), Bacia de Grajaú, Nordeste do Brasil**. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*. Vol. 13 (1), pág. 59-75.
- Greig, W. 1977. **Trombetas and other Amazon Bauxites, Brazil**. 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*, Vol. 74, pág. 735-750.
- Fernandes Filho, L. A. 1996. **Geologia, Mineralogia e geoquímica dos lateritos de Manaus-Amazonas**. Dissertação de Mestrado, Centro de Geociências, UFPA, 96 p.
- Hieronymus, B., Kotschoubey, B., Boulègue, J. 2001 **Gálio behaviour in some constrating lateritic profiles from Cameroon and Brazil**. *Journal of Geochemical Exploration* 72: 147-163.
- Horbe, A.M. 1995. **Evolução mineralógica e geoquímica multi-elementar de perfis de solos sobre lateritos e gossans na Amazônia**. Tese de doutorado. Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 213p.

Horbe A.M.C., Costa M.L. 1997. **Solos gerados a partir do intemperismo de crostas lateríticas sílico-ferruginosas**. *Acta Amazônica*. Vol. 27 pág. 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*, Vol. 29 (4), pág. 497-504.

Horbe A.M.C., Costa M.L. 2005. **Lateritic crust and related soils in eastern Brazilian Amazonia**. *Geoderma*, Vol. 126, pág. 225 – 239.

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

Kotschoubey B., Truckenbrodt W. 1994. **Evidências de Bauxitização Tardia no NE do Estado do Pará**. *In: IV Simpósio de Geologia da Amazônia*. Boletim. pág. 269 – 271

Kotschoubey, B; Truckenbrodt, W; Hieronymus B. 1996. **Depósitos de caulim e argila semi-flint no nordeste do Pará**. *Revista Brasileira de Geociências*. Vol. 26, pág. 71–80.

Kotschoubey, B; Truckenbrodt, W; Hieronymus B. 1997. **Bauxite deposits of Paragominas**. *In: A. Carvalho, B. Boulangé, A.J. Melfi & Y. Lucas (eds.) Brazilian Bauxites*. USP/FAPESP/ORSTOM, São Paulo, p. 75-106.

Kotschoubey, B.; Duarte, A. L. S.; Truckenbrodt, W. 1999. **Cobertura bauxítica e origem do caulim do Morro do Felipe, Baixo Rio Jari, Estado do Amapá**. *Revista Brasileira de Geociências*, Vol. 29 (3), pág. 443-450.

Kotschoubey, B; Truckenbrodt, W; Calaf J.M.C. 2005a **Evolução geológica da porção meridional da Província Bauxitífera de Paragominas durante o Neógeno/Pleistoceno (noroeste da BACIA DO GRAJAÚ, nordeste do Pará e extremo oeste do Maranhão)**. *Revista Brasileira de Geociências*, Vol. 35 (2), pág. 263-272.

Kotschoubey, B; Calaf, J.M.C; Lobato, A.C.C; Leite, A.S; Azevedo,C.H.D. 2005b. **Caracterização e gênese dos depósitos de bauxita da Província Bauxitífera da Região de Paragominas, noroeste da Bacia do Grajaú, nordeste do Pará/oeste do Maranhão**. ADIMB. *In: Caracterização de Depósitos Minerais em Distritos Mineiros da Amazônia*. Brasília: DNPM - CT/Mineral – ADIMB, 2005. p. 687-782.

Kronberg, B.I., Couston, J.F. Stilianidi, B., Fyfe, W.S, Nash, R.A., Sudgen,D. 1979. **Minor elements geochemistry of the Paragominas bauxite**. *Economic Geology*. Vol. 75, pág. 1869-1875.

Kronberg, B.I., Fyfe, W.S, McKinnon, B.J. Couston, J.F. Stilianidi, B., Nash, R.A., 1982. **Model for bauxite Formation: Paragominas (Brazil)**. *Chemical Geology*. Vol. 35, pág. 311-320.

- Larizzatti, J. H., Oliveira, S. M. B. 2005. **Evolução geoquímica e balanço de massa na formação e degradação de perfis lateríticos encouraçados na área da Fazenda Pison, Vale do rio Tapajós, Amazônia Central.** Revista Brasileira de Geociências, Vol. 35 (2), pág. 273-284.
- Leconte, P. Colin, F. 1989. **Gold dispersion in a tropical rainforest weathering profile at Dondo Mobi, Gabon.** *Journal Geochemical Exploration*. Vol. 34, pág. 285-301.
- Lucas Y., Luizão F.J., Chauvel A., Rouiller J., Nahon D. 1993. **The relation between biológica! activity of the rain forest and mineral composition of soils.** *Science*, Vol. 260, pág 521-523.
- Lucas Y. 1997. **The Bauxite of Juruti.** In: Carvalho A., Boulangé B., Melfi A.J., Lucas Y. (eds.) *Brazilian Bauxites*. São Paulo, USP/FAPESP/ORSTOM, p.107-133.
- Munsell Soil Color Company. **Munsell soil color charts**, Baltimore, 1975. Vol 1. 117p.
- Nahon, D., 1991. **Introduction to the Petrology of Soils and Chemical Weathering.** John Wiley and Sons, New York. 313 pp.
- Nogueira, A.C.R., Vieira, L.C., Suguio, K., 1999. **Paleossolos da Formação Alter do Chão, Cretáceo-Terciário da Bacia do Amazonas, regiões de Presidente Figueiredo e Manaus.** Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, vol. 5. Rio Claro, Brasil, pp. 261– 266.
- Oliveira, S. M. B. Silva, M.L.M.C. 1990. **Comportamento dos elementos terras raras em bauxitas derivadas da lateritização das rochas básicas.** In: Congresso Brasileiro de Geologia. 36, Natal. 1985. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia SBG/NNE. Vol. 2, pág. 912 – 919.
- Peixoto, S. F., Horbe, A. M. C. 2008. **Bauxitas do Nordeste do Amazonas.** Revista Brasileira de Geociências, Vol. 38 (2), pág. 406-422.
- Petri, S. Fulfaro, V. J. 1983. **Geologia do Brasil – Fanerozóico.** EDUSP. São Paulo, 631p.
- Rossetti, D.F., 2000. **Influence of low amplitude/high frequency relative sea level changes in a wave-dominated estuary (Miocene), São Luís basin, northern Brazil.** *Sedimentary Geology* Vol.133, 295–324.
- Rossetti, D.F., 2001. **Sedimentary evolution of late Cenozoic deposits in the northeast of Pará State, Brazil: evidence of sea level fluctuations.** *Journal of South American Earth Sciences* 14, 77–89.
- Rossetti, D.F., 2004. **Paleosurfaces from northeastern Amazonia as a key for reconstructing paleolandscapes and understanding weathering products.** *Sedimentary Geology*. Vol. 169, pág. 151–174.

Rossetti, D.F., W. Truckenbrodt, 1997. **Classificação estratigráfica para o Albiano-Terciário Inferior (?) na Bacia de São Luís, MA**. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Série Ciências da Terra, Vol. 9, pág. 31-43.

Rossetti, D.F. Truckenbrodt, W. 1999. **Nomenclatura estratigráfica de depósitos cretáceos expostos na bacia de São Luís (MA)**. In: Simp. Cretáceo do Brasil, 5, Boletim UNESP, p. 485-490.

Ruffet, G., Innocent, C., Michard, A., Feraud, G., Beauvais, A., Nahon, D., Hamelin, B., 1996. **A geochronological $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and $^{87}\text{Rb}/^{87}\text{Sr}$ study of K-Mn oxides from the weathering sequence of Azul Brazil**. *Geochemical et Cosmochemical Acta* Vol. 60, pág. 2219– 2232.

Santos, A. C. F. 1996. **Caracterização química e mineralógica de bauxitas da Amazônia Oriental através de métodos por fluorescência de raios-X e difração**. Dissertação de Mestrado, Centro de Geociências, UFPA, 184p.

Santos JR., A.E. Rossetti, D.F. 2002. **Influência estuarina na Formação Ipixuna, porção média do rio Capim, Sub-bacia de Cametá**. In: Simp. Cretáceo do Brasil, 6, Boletim, p. 1-5.

Schulmann, A. Carvalho, A. Valetton. 1997. **Bauxita de Poços de Caldas**. In: Carvalho A., Boulangé B., Melfi A.J., Lucas Y. (Eds.) *Brazilian Bauxites*. São Paulo, USP/FAPESP/ORSTOM, p. 231-256.

Sombroek, W.G. 1966. **Amazona Soils. A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region**. Wageningen, Holland, Centre for Agricultural. Publications. Document., 292p.

Théveniaut, H., Freyssinet, P., 1999. **Paleomagnetism applied to lateritic profiles to assess saprolite and duricrust formation processes: the example of Mont Baduel profile (French Guiana)**. *Palaeogeogr, Palaeoclimatol, Palaeoecol.* 148 (4), 209–231.

Tardy, Y. 1993. **Pétrologie des latentes et des sois tropicaux**. Masson, Paris. 459 pág.

Taylor, S.R., McLennan, S.M. 1981, **The composition and evolution of the continental crust: rare earth element evidence from sedimentary rocks**. *Phil. Trns. R. Society*, A301, pág 381-399.

Taylor, S.R., McLennan, S.M. 1985, **The continental crust: its composition and evolution**. Blackmell, Oxford.

Théveniaut, H., Freyssinet, P., 2002. **Timing of lateritization on the Guiana Shield: synthesis of palaeomagnetic results from French Guiana and Suriname**. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 178 (1– 2), 91– 117.

Truckenbrodt, W. , Kotschoubey, B. 1981. **Argila de Belterra – cobertura terciária das bauxitas amazônicas**. *Revista Brasileira de Geociências*, Vol. 11, pág. 203-208.

Truckenbrodt, W., Kotschoubey, B. Góes, A. M. 1982. **Considerações a respeito da idade das bauxitas na parte leste da região amazônica**. *Anais do Simpósio de*. Vol. 1, p. 201-209.

Truckenbrodt, W., Kotschoubey, B. 1982. **Alguns aspectos microfaciológicos das bauxitas da parte leste da região Amazônica.** Anais do Congr. Brasileiro de Geologia. Bahia. Vol. 2, Bahia. pág. 695 – 701.

Truckenbrodt W., Kotschoubey B., Schellmann W. 1991. **Composition and origin of the clay cover on north brazilian laterites.** Geologische Rundschau, Vol. 80, pág. 591-610.

Truckenbrodt, W., Kotschoubey, B. Hieronymus, B. 1995. **Aluminization: An important process in the evolution of Amazonian Bauxites.** *Travaux. ICSOBA.* Zagreb, Vol. 22, pág. 27 – 42.

Van Kersen, J.F. 1956, **Bauxite deposit in Suriname and Demerara (British Guiana).** Liedse Geology Mededeel. Vol.1, pág. 303-306.

Vasconcelos, P.M., Renne, P.R., Brimhall, G.H. Becker, T.A. 1994. **Direct dating of weathering phenomena by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and K-Ar analysis of supergene K-Mn oxides.** *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58(6): 1635-1665.

Wolf, F. A. M., Silva, J.M.R. 1973. **Província Bauxitífera da Amazônia.** DNPM, 5º Distrito Belém, Relatório Interno, 35p.