



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Geologia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

Leonardo Coutinho Oliveira

**Mineralogia e Geoquímica do Perfil Laterito-bauxítico da Área Vera Cruz
– Província Bauxitífera de Paragominas – NE do Estado do Pará**

GEOCIÊNCIAS
BELÉM – PA
FEVEREIRO – 2011
U F P A

LEONARDO COUTINHO OLIVEIRA

**MINERALOGIA E GEOQUÍMICA
DO PERFIL LATERITO-BAUXÍTICO DA ÁREA VERA
CRUZ- PROVÍNCIA BAUXITÍFERA DE
PARAGOMINAS- NE DO ESTADO DO PARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.
Orientador: Prof. Dr. Rômulo Simões Angélica.

BELÉM
2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

O48m Oliveira, Leonardo Coutinho

Mineralogia e geoquímica do perfil laterito-bauxítico da área Vera Cruz – Província Bauxitífera de Paragominas – NE do Estado do Pará / Leonardo Coutinho Oliveira; Orientador: Rômulo Simões Angélica – 2012

113 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2012.

1. Geoquímica – Paragominas (PA). 2. Mineralogia. 3. Bauxita. I. Angélica, Rômulo Simões, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22^a ed.: 551.9098115

LEONARDO COUTINHO OLIVEIRA

MINERALOGIA E GEOQUÍMICA
DO PERFIL LATERITO-BAUXÍTICO DA ÁREA VERA
CRUZ- PROVÍNCIA BAUXITÍFERA DE
PARAGOMINAS- NE DO ESTADO DO PARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Data de aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

Banca examinadora:

Prof. Dr. Rômulo Simões Angélica - Orientador
Doutor em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa- Relator (a)
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

Welka Morais – Membro
Graduada em Geologia
Norsk Hydro

Dedico este trabalho ao meu avô HUGO DE ALMEIDA COUTINHO, meu maior incentivador, pelo seu amor incondicional e esforço em tornar esse sonho realidade, a minha querida mãe RUTH GORETE COUTINHO OLIVEIRA, ao meu pai ARLINDO PAULO DA CUNHA OLIVEIRA, pela dedicação e suporte na vida e valorização integral aos estudos, e ao meu irmão HUGO DE ALMEIDA COUTINHO NETO pelo amor que lhe tenho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Rômulo Simões Angélica pela orientação em todas as fases do trabalho, pela paciência e atenção.

Agradeço a Daniele Gonçalves pelos valiosos conselhos e ajuda em todas as etapas do trabalho.

Agradeço a todo o corpo técnico da Faculdade de Geologia da UFPA, em especial a Cristiane, Paulo, Natalino, Joelma, Lopes e Sousa, pela valiosa ajuda.

Aos colegas de LCM-UFPA Marcus, Arthur, Pedro, Raquel, Kelly, Bruno, Ana Áurea e Simone.

Aos amigos de Faculdade Joseanna, Kamila, Latino, Cléber, Eduardo, João, Katucha, Fábio, Iara e João Neto.

Aos companheiros de curso Camila, Rubem, Hévila, Indy, Carla, João, Priscila,

Aos grandes e melhores amigos James, Igor, Anderson, Valber, Pacheco, Marcela, Susi, Rodrigo, Nathan, Nayan, Robertinho, Diego, Neto, Victor, Walmon e Juliana, pela amizade verdadeira e pelos momentos de extrema alegria por eles proporcionados e compartilhados.

Aos professores de toda vida, em especial aos Professores Joelson, JB, Afonso, Vizeu, Lamarão e Alessandro.

Ao Grupo PET-Geologia- UFPA e seus integrantes, representados pela pessoa do professor Vladimir Távora, tutor e amigo pra todas as horas.

Aos familiares, tios, tias, primos, primas e em especial aos meus avós Paulo, Cléa, Raimunda (In memorian) e Hugo (In memorian), pela criação, pelas boas lembranças da infância e por serem grandes incentivadores e apoiadores de minhas decisões.

Agradeço a Jéssica uma pessoa especial, namorada e companheira, pelo amor, apoio, incentivo e paciência nos bons e maus momentos.

Agradeço a meu irmão Hugo, meu pai Paulo e minha mãe Gorete pelo amor incondicional, apoio, carinho, incentivo, educação, valores, caráter e etc.

E finalmente e mais importante agradeço a Deus pela vida e por ter proporcionado o convívio com todos os citados.

*QUEM CONHECE A SUA IGNORÂNCIA REVELA A
MAIS PROFUNDA SAPIÊNCIA. QUEM IGNORA A
SUA IGNORÂNCIA VIVE NA MAIS PROFUNDA
ILUSÃO (LAO-TSÉ).*

RESUMO

As bauxitas são os principais minérios de alumínio, formado pelo intenso intemperismo sobre diferentes tipos de rochas e muito comuns em regiões tropicais e subtropicais, como na Amazônia. Diferentes pesquisadores têm trabalhado neste assunto, cuja gênese e complexa estruturação dos perfis ainda é tema bastante controverso. No estado do Pará, a província Bauxitífera de Paragominas é a mais recente região produtora, depois da região de Trombetas. Na estruturação dos perfis da província Bauxitífera de Paragominas, sobreposto ao horizonte principal de bauxita (BC – Bauxita Cristalizada), ocorre um horizonte denominado de Bauxita Nodular (BN). Este apresenta, proporcionalmente, elevado teor de caulinita, prejudicial ao processo metalúrgico de obtenção da alumina. Este trabalho caracterizou os diferentes horizontes através de análises químicas e mineralógicas por fluorescência e difração de raios-X, bem como descrição petrográfica/textural, afim de reconhecer aspectos estruturais e texturais importantes na gênese e desenvolvimento dos perfis. Foram selecionados três perfis bauxíticos da região de Vera Cruz, Paragominas, num total de 30 amostras. Os resultados revelaram uma alta concentração de caulinita e conseqüentemente alto teor de sílica reativa (>5%) e baixos teores de alumina aproveitável (<50%), na maioria dos Horizontes BA, BCBA, LF, BNC e BN, porém, apresenta valores aceitáveis do ponto de vista econômico dos parâmetros de sílica reativa e alumina aproveitável, para maioria das amostras do Horizonte BC. A mineralogia conta com teores elevados de gibbsita (principal mineral-minério de Al), com diferentes “graus de cristalinidade”, além de caulinita, goethita (principalmente aluminosa), hematita, anatásio e quartzo, em diferentes proporções, dependendo do horizonte. Diferentes imagens e representações esquemáticas das texturas foram obtidas, a fim de auxiliar o entendimento da formação e desenvolvimento dos horizontes dentro dos perfis. Conclui-se que a origem e desenvolvimento dos perfis ocorreram de forma complexa e polifásica, haja vista sua estruturação, características petrográficas-texturais e distribuição geográfica irregular, corroborarrem o que apresentaram Costa (1984) e Kotschoubey *et al* (2005). Outra importante constatação foi a forte influência climática e ocorrência de pelo menos dois ciclos de bauxitização bem marcados temporalmente, sendo o primeiro no Eoceno ou início do Oligoceno e o segundo no fim do Oligoceno ou início do Mioceno.

Palavras-chave: Geoquímica – Paragominas (PA). Mineralogia. Bauxita.

ABSTRACT

Bauxite are the major aluminum ores, are formed by intense weathering of different rock types and very common in tropical regions such as the Amazon. Different researchers have worked on this subject, whose genesis and complex structure of the profiles is still very controversial issue. In the state of Pará, the province bauxitífera Paragominas is the latest producing region after region of Trombetas. In structuring the profile of this region, superimposed on the main bauxite horizon (BC – Crystallized Bauxite), there is a horizon of Nodular Bauxite (BN). This has proportionally high content of kaolinite, harmful to the metallurgical process for obtaining alumina. This study characterized the different horizons through chemical analysis and mineralogical Fluorescence and X-ray diffraction, and petrographic description / texture in order to recognize the structural and textural influences the genesis and development of the profiles. Were selected three bauxitic profiles of Vera Cruz area, city of Paragominas, a total of 30 samples. The results revealed a high concentration of kaolinite and consequently high content of reactive silica ($\text{SiO}_2\text{-R}$) and low alumina contents usable in most of BA, BCBA, LF, BN BNC horizons, and good values of these parameters for most samples the Horizon BC . The mineralogy has high levels of gibbsite (main ore/mineral-Al) with different “degrees of crystallinity” in addition to kaolinite, goethite (mainly aluminous), hematite, anatase and quartz in different proportions, depending on the horizon. Different images and schematic representations of the textures were obtained in order to assist the understanding of the formation and development of horizons within the profile. It is concluded that the origin and development of the profiles occurred in a complex and polyphasic ways, given its structure, petrographic-textural characteristics and irregular geographic distribution, which had confirmed Costa (1984) and Kotschoubey et al (2005) models. Another important finding was the strong influence climate and the occurrence of at least two bauxitization cycles, temporally well marked, the first in the Eocene or early Oligocene and the second in late Oligocene or early Miocene.

Key words: Geochemistry. Paragominas (PA). Mineralogy. Bauxite

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1- Mapa de localização da área de estudo.....	19
Figura 4.1- Mapa geológico da bacia de São Luís-Grajaú.....	21
Figura 4.2 - Coluna litoestratigráfica da Bacia da São Luis-Grajaú.....	22
Figura 5.1 -Diagrama de uma célula de redução do Processo Hall-Heróult.....	28
Figura 6.1- Instrumentos utilizados nas análises de Difração e Fluorescência de Raios-X, incluindo as pastilhas.....	33
Figura 6.2 – Fluxograma da etapa de materiais e métodos.....	35
Figura 7.1 – Perfis estratigráficos representativos dos furos FD2601 e 2460 e da TR19.....	37
Figura 7.2 - Amostra de mão representativa do Horizonte ARV.....	38
Figura 7.3 -Difratograma representativo da mineralogia do Horizonte Argila Variegada.....	38
Figura 7.4 -Amostra do horizonte Argila Variegada (ARV) com difratogramas.....	39
Figura 7.5 -Amostra representativa do Horizonte Bauxita Amorfa.....	40
Figura 7.6 -: Difratogramas do Horizonte Bauxita Amorfa.....	40
Figura 7.7 -Amostra representativa do horizonte Bauxita Amorfa (BA) com difratogramas.....	41
Figura 7.8 – Fotomicrografias representativas do horizonte Bauxita Amorfa.....	41
Figura 7.9 -Amostra representativa do Horizonte Bauxita Cristalizada/ Bauxita Amorfa.....	42
Figura 7.10 – Difratogramas representativos do Horizonte Bauxita Cristalizada/Bauxita Amorfa.....	43
Figura 7.11 -Fotomicrografias representativas do Horizonte Bauxita Cristalizada/Bauxita Amorfa.....	43
Figura 7.12 -Amostra do horizonte Bauxita Cristalizada/Bauxita Amorfa com difratogramas.....	44
Figura 7.13 -Amostras representativas do Horizonte Bauxita Cristalizada.....	45
Figura 7.14 -Difratogramas representativos do Horizonte Bauxita Cristalizada.....	46
Figura 7.15 -Fotomicrografias mostrando a porção colunar da Bauxita Cristalizada.....	46
Figura 7.16 -Difratogramas do Horizonte Bauxita Cristalizada Fácies colunar maciça.....	47
Figura 7.17 - Fotomicrografias da porção colunar da Bauxita Cristalizada.....	48
Figura 7.18 -Amostra representativa do Horizonte Bauxita Cristalizada com difratogramas.....	48

Figura 7.19 - Amostras representativas do Horizonte Laterita Ferruginosa.....	49
Figura 7.20 -Difratogramas representativos do Horizonte Laterita ferruginosa.....	50
Figura 7.21 -Fotomicrografias do Horizonte Laterita Ferruginosa.....	51
Figura 7.22 - Fotomicrografias representativas do Horizonte Laterita Ferruginosa.....	52
Figura 7.23 - Amostra representativa do horizonte de Laterita Ferruginosa com difratogramas....	53
Figura 7.24 – Difratogramas representativos do Horizonte Bauxita Cristalizada/Bauxita Amorfa	53
Figura 7.25 –Difratogramas do Horizonte Bauxita Nodular Cristalizada.....	54
Figura 7.26 -Fotomicrografias do Horizonte Bauxita Nodular Cristalizada.....	55
Figura 7.27 - Amostra do horizonte Bauxita Nodular Cristalizada.....	55
Figura 7.28 - Amostra representativa do Horizonte Bauxita Nodular.....	56
Figura 7.29 -Difratogramas representativos do Horizonte Bauxítita Nodular.....	57
Figura 7.30 -Fotomicrografias do Horizonte Bauxita Nodular.....	58
Figura 7.31 - Amostra do Horizonte Bauxita Nodular.....	59
Figura 7.32 - Perfil esquemático integrado da área estudada.....	60
Figura 7.33 –Fotomicrografias do Horizonte Bauxita Amorfa.....	62
Figura 7.34 - Fotomicrografias do Horizonte Bauxita Cristalizada/ Bauxita Amorfa.....	64
Figura 7.35 - Fotomicrografias do Horizonte Bauxita Cristalizada/ Bauxita Amorfa.....	65
Figura 7.36 - Fotomicrografias do Horizonte Bauxita Cristalizada/ Bauxita Amorfa.....	66
Figura 7.37 - Fotomicrografias do Horizonte Bauxita Cristalizada/ Bauxita Amorfa.....	67
Figura 7.38 -Fotomicrografias do Horizonte Bauxita Cristalizada.....	69
Figura 7.39 - Fotomicrografias do Horizonte Bauxita Cristalizada.....	70
Figura 7.40 - Fotomicrografias do Horizonte Bauxita Cristalizada.....	71
Figura 7.41 - Fotomicrografias do Horizonte Bauxita Cristalizada.....	72
Figura 7.42 - Fotomicrografias do Horizonte Bauxita Cristalizada.....	73
Figura 7.43 - Fotomicrografias do Horizonte Bauxita Cristalizada.....	74
Figura 7.44 - Fotomicrografias do Horizonte Bauxita Cristalizada.....	75
Figura 7.45 - Fotomicrografias do Horizonte Bauxita Cristalizada.....	76
Figura 7.46 -Fotomicrografias do Horizonte Bauxita Cristalizada.....	77

Figura 7.47 -Fotomicrografias do Horizonte Bauxita Cristalizada.....	78
Figura 7.48 –Fotomicrografias do Horizonte Laterita Ferruginosa.....	80
Figura 7.49 - Fotomicrografias do Horizonte Laterita Ferruginosa.....	81
Figura 7.50 - Fotomicrografias do Horizonte Laterita Ferruginosa.....	82
Figura 7.51 - Fotomicrografias do Horizonte Laterita Ferruginosa.....	83
Figura 7.52 - Fotomicrografias do Horizonte Laterita Ferruginosa.....	83
Figura 7.53 - Fotomicrografias do Horizonte Laterita Ferruginosa.....	84
Figura 7.54 – Fotomicrografias do Horizonte Bauxita Nodular Cristalizada.....	85
Figura 7.55 -Fotomicrografias do Horizonte Bauxita Nodular Cristalizada.....	86
Figura 7.56 – Fotomicrografias do Horizonte Bauxita Nodular.....	88
Figura 7.57 –Fotomicrografias do Horizonte Bauxita Nodular.....	89
Figura 7.58 –Fotomicrografias do Horizonte Bauxita Nodular.....	90
Figura 7.59 – Fotomicrografias do Horizonte Bauxita Nodular.....	91
Figura 7.60 – Fotomicrografias do Horizonte Bauxita Nodular.....	92
Figura 7.61 –Perfis integrados com dados geoquímicos da área estudada.....	100
Figura 7.62 –Modelo evolutivo da área estudada.....	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Coluna litoestratigráfica integrada da Bacia de São Luis-Grajaú e Plataforma Bragantina.....	22
Tabela 5.1 – Insumos para a produção de Alumínio.....	28
Tabela 7.1 – Valores das concentrações de óxidos para o Perfil FD2601 (LCM-UFPA).....	94
Tabela 7.2 - Valores das concentrações de óxidos para o Perfil FD2601 (VALE-GEOSOL).....	94
Tabela 7.3 – Valores das concentrações de óxidos para o Perfil TR19 (LCM-UFPA).....	97
Tabela 7.4 - Valores das concentrações de óxidos para o Perfil TR19 (VALE-GEOSOL).....	98
Tabela 7.5 – Valores das concentrações de óxidos para o Perfil FD2460 (LCM-UFPA).....	99

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	17
3	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	18
4	GEOLOGIA REGIONAL	19
5	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
5.1	TRABALHOS ANTERIORES.....	24
5.2	HISTÓRIA E CADEIA DA BAUXITA-ALUMINA-ALUMÍNIO.....	25
5.3	BAUXITA NA ECONOMIA.....	29
6	MATERIAIS E MÉTODOS	31
6.1	TRABALHOS DE CAMPO.....	31
6.2	TRABALHOS DE LABORATÓRIO.....	31
6.2.1	Análise química (frx)	32
6.2.2	Análises mineralógicas (drx)	32
6.2.3	Petrografia	34
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
7.1	GEOLOGIA LOCAL – DESCRIÇÃO DOS PERFIS – MINERALOGIA	36
7.1.1	Horizonte Argila Variegada	36
7.1.2	Horizonte Bauxita Amorfa	39
7.1.3	Horizonte Bauxita Cristalizada/ Bauxita Amorfa	42
7.1.4	Horizonte Bauxita Cristalizada	44
7.1.5	Horizonte Laterita Ferruginosa	49
7.1.6	Horizonte Bauxita Nodular Cristalizada	53
7.1.7	Horizonte Bauxita Nodular	56
7.2	DESCRIÇÃO DOS PERFIS – PETROGRAFIA	61
7.2.1	Horizonte Bauxita Amorfa	61
7.2.2	Horizonte Bauxita Cristalizada/ Bauxita Amorfa	63
7.2.3	Horizonte Bauxita Cristalizada	68
7.2.4	Horizonte Laterita Ferruginosa	79
7.2.5	Horizonte Bauxita Nodular Cristalizada	84
7.2.6	Horizonte Bauxita Nodular	87
7.3	DESCRIÇÃO DOS PERFIS – GEOQUÍMICA	92

7.3.1	Perfil FD2601	93
7.3.2	Perfil TR19	96
7.3.3	Perfil FD2460	98
8	EVOLUÇÃO GEOLÓGICA	101
9	CONCLUSÕES	106
	REFERÊNCIAS	110

1. INTRODUÇÃO

Na Amazônia encontram-se inúmeros depósitos minerais metálicos de classe mundial, principalmente relacionado a depósitos lateríticos-bauxíticos. As reservas de bauxita na região amazônica são da ordem de bilhões de toneladas, onde as reservas mais importantes são as de Trombetas, Paragominas e Almerim.

A importância das pesquisas relacionadas aos depósitos lateríticos/ bauxíticos reside no fato de que há um aquecimento do mercado consumidor de bens metálicos não ferrosos, sobretudo no alumínio, impulsionando o desenvolvimento técnico-científico no que diz respeito à caracterização, interpretação genética e principalmente em relação à exploração comercial dos mesmos.

O grande interesse na província bauxitífera de Paragominas se deu principalmente pela grande extensão de seus depósitos, bem como pela relativa continuidade lateral, inserindo-se como importante pólo mineral, com potencial metalúrgico aproveitável de 2000 Mt de bauxita, o que corresponde a aproximadamente a 60 % das reservas brasileiras (KOTSCHOUBEY et al 2005).

Desde o final de 2007, encontra-se em lavra o depósito de Miltônia 3, iniciado pela Companhia Vale do Rio Doce. Atualmente, com a venda de todos os negócios de alumínio da Vale para a empresa Norueguesa Norsk Hydro, foi criada, em 2010, uma empresa intermediária denominada “Mineração Paragominas S.A.”. A partir de 2011 a Norsk Hydro assumiu todas as operações em Paragominas, inclusive a expansão da lavra para o platô Miltônia 5 (Figura 1), a oeste de Miltônia 3.

O Pólo Vera Cruz corresponde a outro agrupamento de platôs bauxíticos (Figura 1), dentro do contexto da Província de Paragominas, e que antes da crise econômica de outubro de 2008, estava prestes a se tornar a segunda mina de bauxita da região.

Os depósitos estendem-se por uma área de aproximadamente 750 km² com cotas que variam de 150 a 200 metros, é constituído de dois conjuntos de platôs alinhado nas direções NE- SW e NW-SE. O primeiro conjunto apresenta os platôs V1, V2 e V6, enquanto o segundo conjunto apresenta os platôs V3, V4, V5 e Gurupi Norte

O presente trabalho se deterá ao segundo conjunto, especificamente no platô V4 (denominação atribuída pela empresa Vale). Em termos de volume e qualidade da bauxita se destacam os platôs V2 e V5.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho visa à caracterização integrada dos perfis laterito-bauxíticos da região de Paragominas, particularmente da área Vera Cruz, a partir da caracterização textural, química e mineralógica dos mesmos, a fim de obter um melhor entendimento dos processos genéticos e das relações petrográficas e texturais relacionadas ao desenvolvimento do perfil, Para tanto os objetivos específicos que determinaram esses padrões são:

- Caracterização Química e Mineralógica das amostras dos diferentes horizontes e fácies que compõem os perfis bauxíticos, a partir de análises de Fluorescência e Difração de Raios-X;
- Caracterização petrográfica das amostras dos diferentes horizontes e fácies que compõem os perfis bauxíticos;
- Análise dos diferentes horizontes e sua viabilidade para exploração econômica.

3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

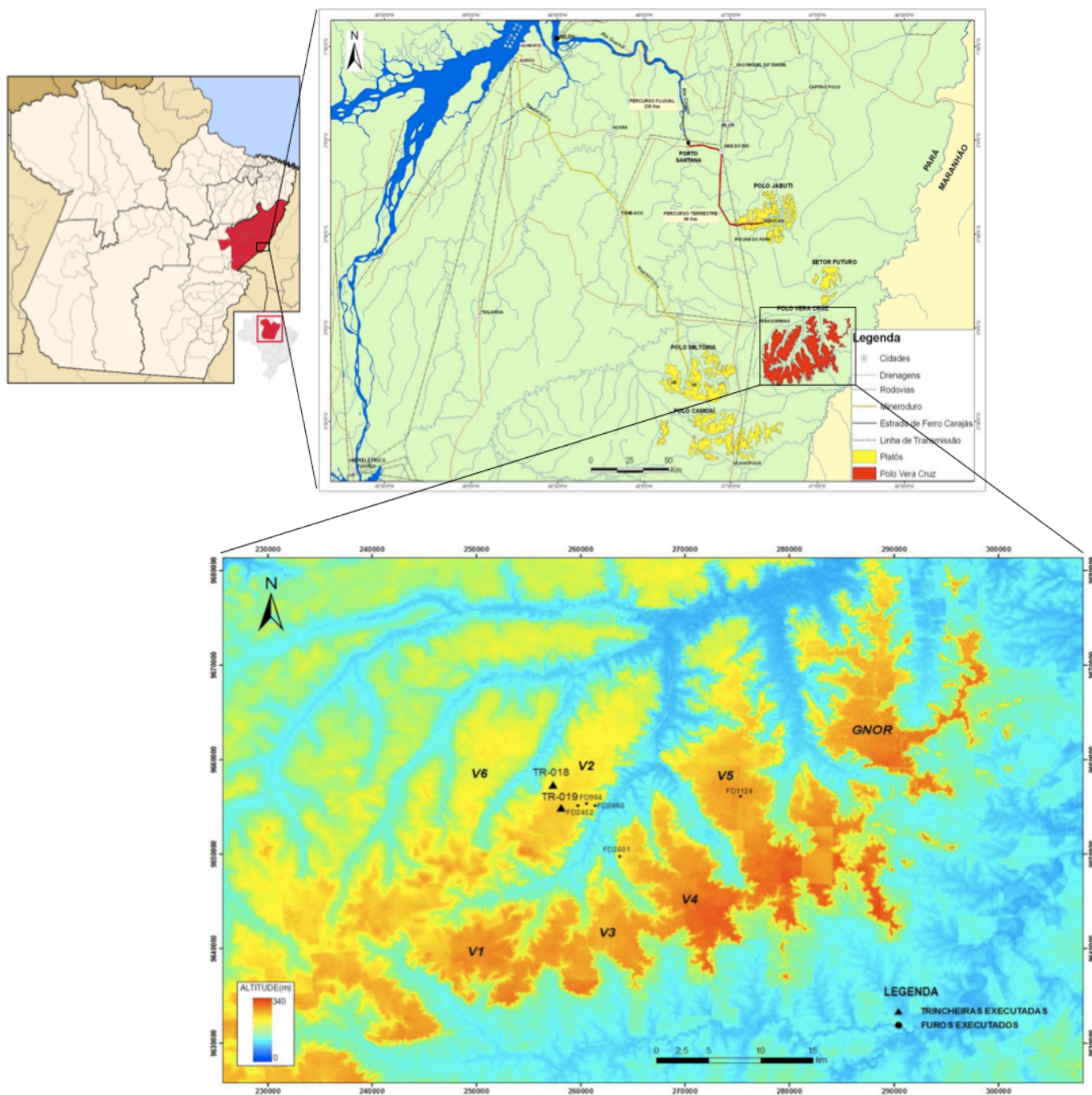
A área de estudo se situa no município de Paragominas, localizado a aproximadamente 310 km de Belém, a capital do estado do Pará.

O acesso à Província Bauxitífera de Paragominas é facilitado pela existência da rodovia BR-010 (Belém–Brasília) que praticamente corta a província ao meio, além de estarem localizadas ao longo da rodovia as principais cidades da fronteira E-W Pará-Maranhão.

Além da rodovia supracitada, é possível ter acesso a porção SW da província através da rodovia pavimentada PA-222, Dom Eliseu – Rondon do Pará – Marabá e paralelamente a rodovia BR-010 com uma distância aproximada de 20km a leste na chamada antiga Belém–Brasília não pavimentada, permite ainda o acesso a regiões pouco habitadas entre Paragominas e Ulianópolis.

O depósito Vera Cruz situa-se a aproximadamente 30km na direção SE a partir do centro da cidade de Paragominas, como mostra o mapa na figura 1.

Figura 3.1: Mapa de localização integrado, (A) mostra a cidade de Paragominas em seu contexto estadual, (B) mostra os diferentes pólos, em amarelo observam-se os pólos Miltônia, Jabuti e Futuro e em vermelho o Pólo Vera Cruz e (C) mostra a localização dos furos FD 2601 e FD2460 e da Trincheira 19.



4. GEOLOGIA REGIONAL

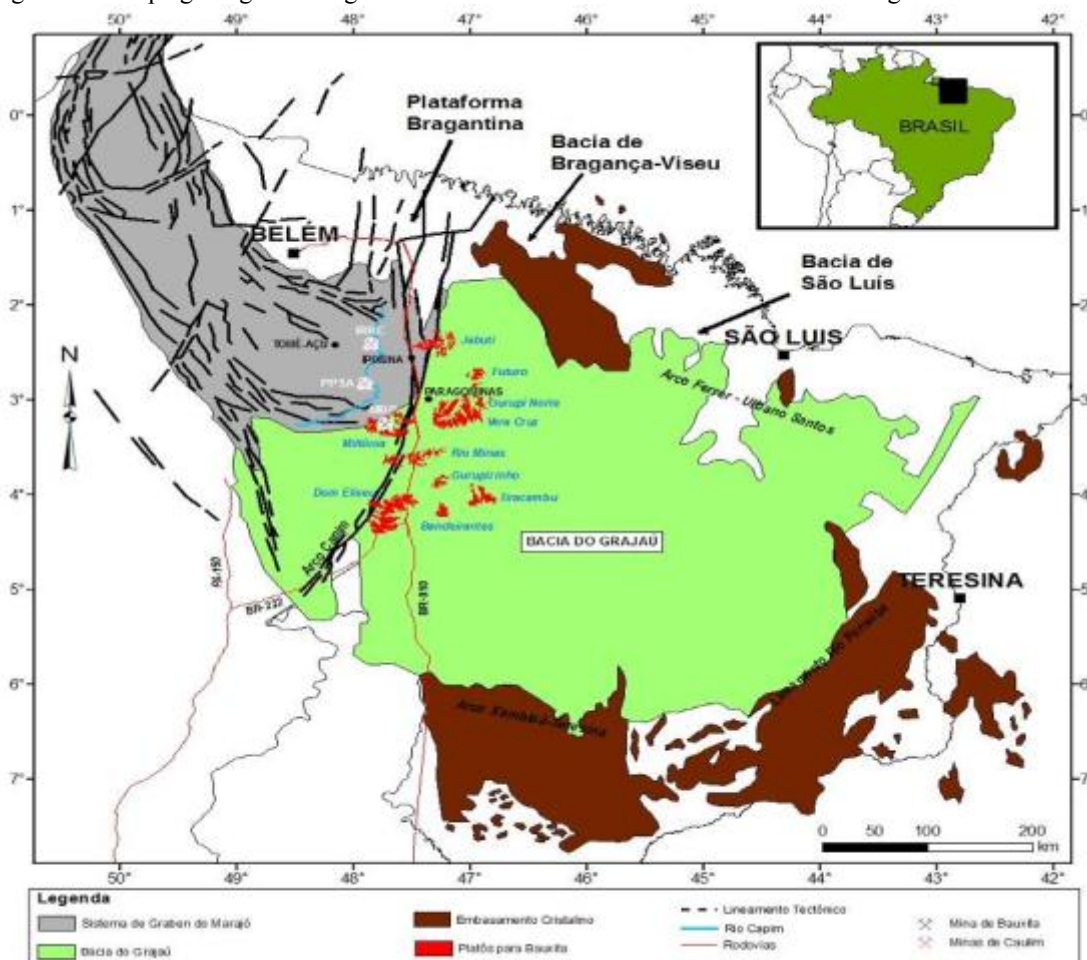
A origem e evolução tectônica da bacia do Grajaú foram semelhantes as das bacias marginais brasileiras, relacionada com a tafrogenia do Atlântico sul, em três fases principais: fase pré-rift, com adelgaçamento crustal e formação de depressão com subsidência lenta no Aptiano; fase rift, com falhamento transtensional intenso e formação de depressão profunda com acúmulo de espessa sucessão sedimentar no Albiano e por último a fase drift, que corresponde a deriva continental rápida e ampliação do fundo oceânico associadas a decaimento termal no Albiano-Cenomaniano (ROSSETTI, 2001).

A bacia do Grajaú estende-se pelos estados do Pará e Maranhão e porção leste do estado do Piauí ocupando uma área de aproximadamente 50.000 km², estende-se a Sul onde faz contato com a bacia das Alpercatas, formada por rochas sedimentares das Formações Pastos Bons e Corda, do Triássico, assim como das Formações Mosquito e Sardinha com derrames basálticos e intrusões de diabásio do Jurássico (GÓES, 1995). A Sudoeste a Bacia está em contato com rochas pré-Cambrianas, sobretudo neoproterozóicas do Cinturão Araguaia, enquanto que a Norte limita-se com as rochas gnáissicas, graníticas e metassedimentares predominantemente paleoproterozóicas do cráton São Luís e do cinturão de dobramento Gurupi. A bacia do Grajaú também faz contato a leste com rochas sedimentares da Formação Bequimão e demais formações da bacia paleozóica do Parnaíba (ROSSETTI et al, 2001).

A Noroeste, a bacia do Grajaú passa para a plataforma Bragantina que se estende até ao sistema de Gráben do Marajó (Figura 4.1).

Em sua porção meridional, nos arredores de São Miguel do Guamá, a Plataforma é cortada na direção leste-oeste por um alto estrutural, Arco do Guamá, no domínio do qual aflora amplamente o arenito Guamá do Eopaleozóico (TRUCKENBRODT et al 2005).

Figura 4.1: Mapa geológico da região onde se insere a Província Bauxitífera de Paragominas.



O preenchimento sedimentar Cretáceo na bacia do Grajaú iniciou-se no Neoptiano com folhelhos negros, evaporitos e Calcários lacustres da Formação Codó, além de depósitos Flúvio-deltaicos da Formação Grajaú (CARVALHO 1987; CERQUIERA; MARQUES 1984; MESNER; WOOLDRIDGE 1964; PETRI; FÚLFARO 1983) e sobreposta a elas localiza-se um espesso (1000-4000m) pacote sedimentar siliciclástico estuarino-lagunares referenciado como grupo Itapecurú (Góes et al 1995) constituído pelas formações Itapecurú, na base, formada por arenitos caulínicos finos com níveis argilosos e conglomeráticos depositados sob condições semi-áridas, trata-se de arenitos arcoseanos que sofreram intenso Intemperismo, exibem abundante estratificação cruzada bem com siltitos e argilitos vermelhos subordinados conteúdo brechas intraformacionais e estruturas de corte e preenchimento. No topo observam-se sedimentos areno-argilosos caulínicos, finos e bem selecionados com siltitos e argilitos vermelhos intercalados depositados em ambiente flúvio-estuarinos da Formação Ipixuna (Santos Jr & Rossetti 2003) (Figura 4.2 e Tabela 4.1).

Figura 4.2: Coluna estratigráfica da Bacia de São Luis- Grajaú.

Estratigrafia					
Idade		Bacia de São Luís	Bacia de Grajaú		
QUATERNÁRIO		N	S		
TERCIÁRIO		Fms. Pirabas/Barreiras			
CRETÁCEO	Cenoman./ Maastrich.	GRUPO ITAPECURU	Fm. Cujupe		
			Fm. Alcântara	Depósitos Itapecuru	
	Albiano		S2	Unidade	Indiferenciada
				Neo	
	Meso				
Eo					
Aptiano	S1	Fms. Codó/Grajaú	Codó/ Grajaú		

Fonte: (KOTSCHOUBEY et al, 2005)

Tabela 4.1: Coluna estratigráfica integrada da Bacia do Grajaú e Plataforma Bragantina.

UNIDADE ESTRATIGRÁFICA	IDADE	REFERÊNCIAS
Sedimentos pós-Barreiras	Quaternário Plio-Pleistoceno Plioceno	Rossetti <i>et al.</i> (1989) Rossetti (2001) Kotschoubey <i>et al.</i> (2005)
Couraça ferruginosa/Stone-layers	Final do Terciário/início do Quaternário Mioceno sup./Plioceno Inferior Mioceno Superior	Kotschoubey <i>et al.</i> (1996) Rossetti (2001) Kotschoubey <i>et al.</i> (2005)
Formação Barreiras	Mioceno a Plio-Pleistoceno Mioceno Médio	Rossetti <i>et al.</i> (1989) Rossetti (2001)
Formação Pirabas	Oligoceno final-Mioceno inferior Mioceno Inferior	Ferreira <i>et al.</i> (1984) Góes <i>et al.</i> (1990) Rossetti (2001)
Argila de Belterra	Anterior à Formação Pirabas	Kotschoubey <i>et al.</i> (1996)
Couraça Laterítico-bauxítica	Eoceno-Oligoceno	Truckenbrodt <i>et al.</i> (1982)
Formação Ipixuna	Cretáceo-Superior/Terciário Inferior	Francisco <i>et al.</i> (1971) Rossetti & Truckenbrodt (1997) Rossetti & Truckenbrodt (1999) Anaisse Jr. (1999)
Depósitos Itapecurú	Cretáceo Superior	Rossetti & Truckenbrodt (1997) Rossetti & Truckenbrodt (1999) Anaisse Jr. (1999)
Formação Codó	Cretáceo (Aptiano)	Petri & Fulfaro (1983)
Formação Grajaú	Cretáceo (Aptiano)	Petri & Fulfaro (1983)

Fonte (KOTSCHOUBEY et al, op.cit.)

A província Bauxitífera de Paragominas se inscreve no quadro Geológico Meso-Cenozóico constituído pela porção noroeste da Bacia do Grajaú e a parte meridional da Plataforma Bragantina, comporta a sul de Paragominas, os distritos de Miltônia, Gurupi, Tiracambu, Camoai e a norte, os distritos de Futuro e Jabuti (Figura 4.1).

Os depósitos lateríticos/ bauxíticos do Pólo Vera Cruz enfocados no presente trabalho derivam das formações Itapecuru e Ipixuna acima descritas e são correlacionáveis com o modelo de sucessão deposicional na arquitetura estratigráfica da Bacia de São Luís- Grajaú representada pela sucessão S2 (ROSSETTI, 2001). Sobrepostos ao Grupo Itapecurú observa-se uma couraça laterítico-bauxítica formada no Eoceno-Oligoceno (TRUCKENBRODT, 1982) e um capeamento argiloso (Oligoceno) de origem anterior a Formação Pirabas, que por sua vez não é observada na região corroborando a teoria de que a Província desenvolveu-se em ambiente exclusivamente continental. Sobreposto ao capeamento argiloso tem-se arenitos argilosos avermelhados correlacionáveis com a Formação Barreiras (Mioceno- Pleistoceno) e outra couraça ferruginosa/ Stone layer do Mioceno superior (KOTSCHOUBEY et al 2005). Por ultimo, observam-se sedimentos argilo-arenosos/ areno-argilosos amarelados ditos Pós- Barreiras do Pleistoceno (Kotschoubey op. cit).

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 TRABALHOS ANTERIORES

Os primeiro registros de depósitos lateríticos na Amazônia datam do final da década de 1950, através dos pesquisadores Towsen e Vinson (1959), da companhia Kaiser.

Já na década de 1960, Soembroek (1966) classificou produtos residuais no NE do Pará, porém, sem citação de bauxitas.

Na década de 1970 as intensas pesquisas exploratórias proporcionaram grande oportunidade para pesquisadores desenvolverem seus trabalhos e pesquisas, tais como Wolf (1972) e Wolf e Silva (1973), que tentaram pela primeira vez interpretar a origem das bauxitas, erroneamente interpretadas como alterações de sedimentos da Formação Barreiras, que foi igualmente apoiada por Dennen e Norton (1977) e Grubb (1979).

Todos esses trabalhos foram de grande valia para confecção de perfis tipos das áreas, bem como caracterização química e mineralógica de alguns distritos bauxíticos, além de levantar a hipótese de evolução polifásica, haja vista, ocorrer intercalação de horizontes aluminosos intercalados a um horizonte ferruginoso.

Na década de 1980, Kotschoubey e Truckenbrodt (1981), investigaram em detalhe as formações entre Paragominas e Açailândia, propuseram um modelo evolutivo em cinco fases: 1- lateritização do saprólito, 2- formação de crosta Fe-Al e retrabalhamento, 3- primeira fase de gibbsitização e formação de Horizonte bauxítico inferior, 4- segunda fase de retrabalhamento e formação de cascalho superior e 5- segunda fase de gibbsitização e bauxitização da porção superior do perfil. No mesmo trabalho, foi apresentada a hipótese de geração de bauxitas a partir de rochas das formações Itapecurú e Ipixuna do Cretáceo (Góes 1981).

Kotschoubey *et al* (1984) propuseram ainda uma terceira fase de bauxitização nos setores Jabuti-Ipixuna, além de zoneamento com incremento da bauxitização de Sul para Norte da Província (Kotschoubey *et al*, 1987).

No final da década de 1980 e início da década de 1990, varias hipóteses para a evolução das coberturas laterítico-bauxíticas foram propostas, Lucas (1988, 1997) e Lucas *et al* (1989) apresentaram um modelo de evolução em três fases, com ferruginização inicial, bauxitização e desenvolvimento atual de um perfil as custa de perfis antigos, marcado pela ressilificação do perfil e individualização do capeamento.

Já Boulangé e Carvalho (1989, 1997) e Bardossy e Aleva (1989), abordaram a questão a partir de uma visão verticalista, onde não se considerou o aporte lateral de Al e Fe nos perfis.

Kotschoubey *et al* (1997) buscou sintetizar as observações dos últimos 20 anos e dividiu a província em quatro zonas, com base no grau de bauxitização e o seu enriquecimento relativo de Al de Sul para Norte. A evolução teria sido polifásica com retrabalhamento físico, redistribuição química e atuação de fatores externos.

Inicialmente teria acontecido acumulação de pisólitos ferruginosos oriundos de desmantelamento de crosta pretérita, e ferruginização de depósitos siliciclásticos abaixo dessa zona pisolítica, posterior bauxitização do conjunto com rebaixamento do nível de base e finalmente ocorreu a deposição de sedimentos argilosos e alterações para formação de espesso latossolo, designado de Argila de Belterra (TRUCKENBRODT *et al* 1995).

Todos os modelos apresentados por Kotschoubey e Truckenbrodt, mostram uma grande influência de processos químicos e subordinadamente por processos físicos.

Variações climáticas, tectonismo, bioturbação também tiveram papel importante no desenvolvimento dos perfis.

5.2 HISTÓRIA E CADEIA DA BAUXITA-ALUMINA-ALUMÍNIO

A bauxita é o principal minério de Alumínio, por isso, o interesse na gênese e entendimento dos processos formadores dessa rocha ainda é crescente no meio científico.

A história do “descobrimento” da bauxita envolve duas vertentes, a primeira e pouco conhecida é de que desde o século XVI em uma península na Rússia era minerado um material acinzentado rico em pirita e de onde retirava-se Alumínio.

Esse registro foi confirmado por um manual escrito em 1786, por Pietro Turini, um veneziano que publicou sobre a mineração e o processamento experimental desse minério. A mineração avançou e em 1857 as minas se exauriram, conseqüentemente as atividades cessaram.

Anos antes o professor R. Marusic, da Universidade de Zagreb, visitando as minas e galerias, coletando dados, identificou o material como Bauxita pirítica acinzentada, que ocorria no topo de uma sequência bauxítica kárstica (MARUSIC *et al*, 1995). Logo, a bauxita era minerada bem antes de ser descoberta e caracterizada.

A outra história, que na verdade é mais conhecida e aceita, remete a França do século XIX, através do Professor da Escola de Minas de Paris e chefe do laboratório de geoquímica e mineralogia, Pierre Berthier.

A história começa em 1820, quando Berthier recebe amostras de rocha avermelhada de aspecto variegado, de um geólogo francês que trabalhava em Guiné. As amostras revelaram resultados interessantes, pois tinha alta concentração de ferro e alumínio, com baixa concentração de Sílica. Esse material até então desconhecido na Europa logo levantou grande interesse em pesquisa e em 1821, uma amostra de material oriunda do Sul da França revelou características químicas e texturais semelhantes as das amostras de Guiné.

A mineralogia era composta basicamente de hidratos de alumínio e óxidos de ferro, o minério até então sem nome ficou sendo chamado de “ORE” ou simplesmente minério.

Berthier morreu antes de publicar qualquer material a respeito da descoberta do novo minério, e o nome bauxita só veio à tona em 1861 por Sainte-Claire Deville, pelo mineralogista Dufrenoy. Acredita-se que a inspiração se deve a cidade de Le Baux, famosa pelos platôs bauxíticos.

Como os primeiros registros de bauxita foram publicados em periódicos e manuais de mineralogia, muitos autores usavam de forma errônea o termo bauxita como um mineral, e não como uma rocha, entre eles destacam-se Dana (1892), Groth (1898) e Zirkel (1907).

O alumínio por sua vez já era utilizado no século 5000 A.C., já era empregado na confecção de peças em cerâmica, a partir de argila. Os egípcios e babilônios desde o século 2000 A.C., utilizavam compostos do alumínio, somente conhecidos como “o metal da argila”, na fabricação de tintas e para fins medicinais.

No século XVIII, mais precisamente em 1782, o químico francês Lavoisier mencionava o óxido de um metal desconhecido, e em 1808, Sir Humphrey Davy lhe deu o nome de "alumínio" porque lhe soava mais científico que o "metal da argila".

Em 1809, o alumínio existiu possivelmente pela primeira vez em seu estado metálico, numa experiência onde Davy fundiu ferro em contato com alumina em um arco voltaico para produzir uma liga de ferro-alumínio.

De 1825 a 1854, Oerstedt, o cientista alemão Frederick Wohler e Saint-Clair Deville produziram fragmentos cada vez maiores de alumínio em laboratório. Em 1855 animados por Napoleão III a fazer uma produção comercial para a exposição de Paris, foram produzidos os primeiros lingotes de alumínio, que foram colocados ao lado das jóias da coroa.

Outros melhoraram seu processo até 1869, quando duas toneladas de alumínio foram produzidas. Isso baixou seu custo de U\$ 545,00 para U\$ 17,00 o grama, quase o mesmo valor da prata. Um preço razoável, tanto que serviu entre outras coisas para ornamentar a mesa da corte

francesa, a coroa do rei da Dinamarca e a capa do Monumento a Washington.

A partir do séc. XIX, em 1886, com Charles Martin Pasillo e Paul L.T. Heroult, que resolveram quase que simultaneamente o processo eletrolítico básico que ainda hoje se usa para produzir o alumínio. Eles separaram o alumínio do oxigênio com o qual se encontra combinado quimicamente na natureza, passando uma corrente elétrica através de uma solução de criolita e de alumina. Porém, em princípio a importância destes trabalhos não foi reconhecida, só em 1888, o químico alemão Karl J. Bayer obteve uma patente de um processo melhorado para fazer óxido de alumínio (alumina), o Sistema Bayer. E assim, iniciou-se a “era do alumínio”.

O Processo Bayer

A principal forma de purificação da bauxita e obtenção de Alumínio sob a forma de óxido e hidróxido é feita pelo processo Bayer (Buchener *et al.*, 1989). O processo tem início com a digestão do minério em solução de hidróxido de Sódio (NaOH), haja vista os compostos de gibbsita, boehmita e diásporo serem solúveis em meio alcalino em condições de baixas pressões e temperaturas (Ullmann, 1998). Na etapa de digestão adiciona-se ainda CaO para promover por precipitação a diminuição de íons carbonatos e fosfatos dissolvidos no meio. A etapa de clarificação consiste em separar o resíduo sólido rico em ferro (lama vermelha) da solução de aluminato de Sódio ($\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$), e então separar o filtrado e resfria-lo, o $\text{Al}(\text{OH})_3$ é precipitado pela adição de partículas (germes de cristalização) de $\text{Al}(\text{OH})_3$. Após a remoção do $\text{Al}(\text{OH})_3$ o filtrado alcalino é concentrado para a evaporação e retorna ao processo de digestão. A maior parte do hidróxido de Alumínio é calcinada para produzir óxido de Alumínio, ou seja, Alumina Al_2O_3 , enquanto que uma pequena fração é submetida à secagem e usada como tal.

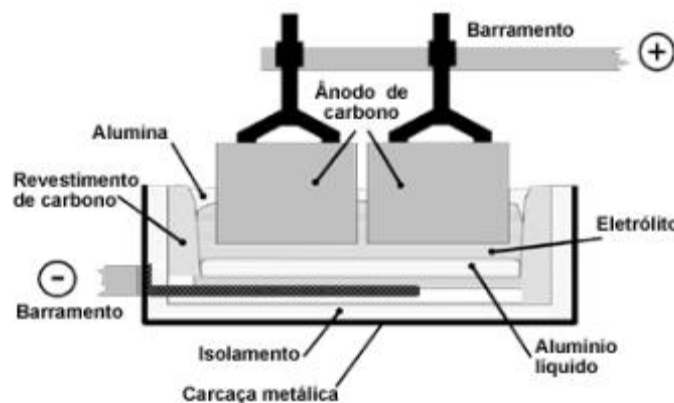
O Processo Hall-Heroult

Após a fase do refino da bauxita, segue-se o processo de redução de Alumina para Alumínio metálico. Esse processo é conhecido como Hall-Heróult e consiste em, dissolver a Alumina em um banho de criolita fundida em fluoreto de alumínio em baixa tensão, decompondo-se em oxigênio, o oxigênio se combina com o ânodo de C e em Al líquido, que se precipita no fundo de uma cuba eletrolítica. O metal líquido (Al primário) é transferido para refusão através de cadinhos, a partir daí são produzidos lingotes, placas e tarugos para comercialização.

A voltagem de cada uma das cubas, ligadas em série, varia de 4 V a 5 V, dos quais apenas 1,6 V são necessários para a eletrólise propriamente dita. A diferença de voltagem é necessária para vencer resistências do circuito e gerar calor para manter o eletrólito em fusão.

Basicamente, são necessárias cerca de 5 t de bauxita para produzir 2 t de alumina e 2 t de alumina para produzir 1 t de alumínio pelo processo de Redução (ABAL, 2003).

Figura 5.1: Diagrama de uma célula de redução (ABAL 2003).



Os principais insumos para a produção de alumínio primário durante o Processo de Redução são indicados na tabela a seguir.

Tabela 5.1: Tabela de insumos para a produção de Alumínio (ABAL 2003).

Insumos para a produção de alumínio primário (ano-base 2003)	
Alumina	1919 kg/t Al
Energia elétrica	15,0 MWhcc/t Al
Criolita	8,0 kg/t
Fluoreto de alumínio	19,7 kg/t
Coque de petróleo	0,384 kg/kg Al
Piche	0,117 kg/kg Al
Óleo combustível	44,2 kg/t

O alumínio é um metal muito importante na indústria e cada vez mais utilizado na sociedade moderna, muito desse crescente uso vem de suas características físico-químicas, como:

- Condutividade elétrica com cerca de 60% IACS (padrão cobre);
- Condutividade térmica com cerca de 60% do cobre, 5x maior que o aço;
- Resistência a corrosão em diferentes meios como, água do mar, álcool etílico, gases de combustão, gasolina, nitroglicerina, peróxido de hidrogênio, ácido nítrico e sulfúrico, suco de frutas cítricas, óleos lubrificantes e combustíveis em geral, ar atmosférico em geral;

- Refletividade pode alcançar 90% atuando em um amplo espectro de comprimento de ondas, ex: luminárias, refletores de luz, de calor e telhas;
- Atóxico, pois os produtos em contato com ele não sofrem qualquer tipo de mudança de sabor, aspecto e cheiro, sendo amplamente utilizado em utensílios domésticos como louças, embalagens para alimentos e remédios;
- Antimagnética, as ligas de alumínio são antimagnéticas para a maioria dos fins práticos, como: proteção em equipamentos eletrônicos;
- Antifagulhante, as ligas de alumínio praticamente não geram faíscas quando golpeadas ou atritadas, ex: transporte e armazenagem de produtos inflamáveis ou explosivos.

*O alumínio apresenta condutividade elétrica e térmica próxima a do cobre, com a metade de seu peso.

5.3 A BAUXITA NA ECONOMIA

A bauxita trata-se do principal minério de alumínio, suas características químicas e físicas a diferenciam dos grandes grupos de rochas (Ígneas, sedimentares e metamórficas) e o Brasil se configura como um dos grandes detentores e produtores mundiais do minério, somente atrás de Guiné e Austrália, com cerca de 11% das reservas mundiais.

Em termos mundiais, a produção de bauxita metalúrgica gira em torno de 205 Mt, sendo a produção brasileira no ano de 2008 em torno de 27,05 Mt, correspondente 13%, com aproveitamento em torno de 7Mt de alumina e 1,6Mt de Alumínio primário com receita aproximada de US\$ 240 milhões (ABAL 2008).

As principais empresas produtoras de bauxita no mundo são, Comalco, Alcan, Alcoa, Rio Tinto e BHP, na Austrália, Chalco na China, CVG na Guiné, e no Brasil, a MRN detém cerca de 70% da produção de bauxita, seguida pela CBA e a VALE, ambas com 12%.

O estado do Pará se constitui como estado mais importante tanto nas reservas como na produção de bauxita brasileira, correspondendo a 75% das reservas totais, sendo o município de Oriximiná o maior produtor nacional com cerca de 916 Mt de minério lavrável, seguido de Paragominas (Relatório técnico 22, MME 2008).

No estado do Pará, as empresas MRN e VALE, detêm cerca de 85% da produção nacional, sendo a primeira, uma empresa de capital associado com participação da própria VALE, da BHP – Billiton, Alcan, CBA e Alcoa.

A VALE, além de acionista da MRN, opera a mina de Paragominas, com investimento inicial na casa de US\$ 350 milhões e capacidade anual em torno de 5 e 6 Mt, com investimentos futuros na ordem de US\$ 200 milhões, com objetivo de alcançar 10 Mt.

A bauxita produzida na mina de Paragominas é transportada na forma de polpa para a Alunorte através de um mineroduto de 244 km, onde é beneficiada. A bauxita de Paragominas possuem um teor médio de 50% de $Al_2O_3_A$, com cerca de 4% de SiO_2_R .

As previsões de produção da VALE, contando com sua parte na MRN, são de 16,9 Mt pra o ano de 2012 e de 17,3 Mt para o ano de 2013 e de 22,1 Mt para 2030, contando com investimentos na casa de US\$ 500 milhões.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram utilizadas 30 amostras representativas de três perfis laterico-bauxíticos descritos na área Vera Cruz, Província Bauxitífera de Paragominas, pertencentes aos platôs V2 e V4.

O trabalho foi dividido em duas etapas principais, a etapa de campo e a etapa laboratorial. Esta consistiu na preparação das amostras para análises por fluorescência de raios-X, difração de raios-X e Petrografia.

6.1.1 TRABALHOS DE CAMPO

Os trabalhos de campo foram realizados pela geóloga da Vale, Daniele Gonçalves. Consistiu em coleta de amostras, tanto de furos de sondagens como de trincheiras e sua prévia preparação para as posteriores análises laboratoriais, além de coleta de informações geológicas, observações de campo de relevância para o desenvolvimento do trabalho, registro fotográfico de perfis e descrição macroscópica de amostras.

6.2 TRABALHOS DE LABORATÓRIO

Após a coleta de amostras, seguiu-se a etapa de preparação para as análises químicas, mineralógicas e petrográficas.

A preparação para Fluorescência de raios-X e difração de raios-X foi feita através do método do pó, onde as amostras foram no caso fluorescência homogeneizadas e quarteadas para posteriores análises, e no caso da difração as porções singulares de cada amostra de cada horizonte foram separadas com o auxílio de uma broca e pulverizadas para posteriores análises.

Após o tratamento para FR-X e DR-X, as amostras foram selecionadas e preparadas para petrografia, buscando sempre retratar e preservar as estruturas e texturas principais de cada amostra (Figura 5).

6.2.1 Análise química (FRX)

Para as análises químicas por fluorescência de raios-X foram utilizados dois conjuntos de amostras, um tratado e preparado pela Vale (I) e outro pelo autor do presente trabalho (II).

O conjunto I foi analisado pela Vale-Geosol e pelo Laboratório de Caracterização Mineral da UFPA (LCM), cujos resultados se apresentaram bastante semelhantes entre si.

O conjunto II foi analisado somente pelo LCM-UFPA, com resultados compatíveis com outros trabalhos de caracterização realizados na Província, tal como Kotschoubey *et al* (2005).

No LCM-UFPA, as análises foram realizadas a partir do método do pó através de pastilha prensada no programa IQ+ Semiquant, por fluorescência de raios-X em disco de vidro para elementos maiores e traços utilizando o espectrômetro sequencial Axios Minerals, tubo de raios-x cerâmico ânodo de Rh 2,4 KW, PANalytical. (Figura 5)

A aquisição de dados foi feita com o software Super Q manager, e o tratamento dos dados com o software IQ+, também da PANalytical, sendo o resultado normalizado para 100%.

Na preparação das pastilhas foram utilizados 3 gramas de amostra para 0,600 grama de parafina, e dado de perda ao fogo obtido a 1000° C.

Na fluorescência de raios-X buscou-se a quantificação dos valores de óxidos dos principais constituintes das bauxitas, tais como Al, Fe, Si e Ti, objetivando a análise do seu conteúdo para futuros empreendimentos, bem como fomentar a pesquisa na área Vera Cruz.

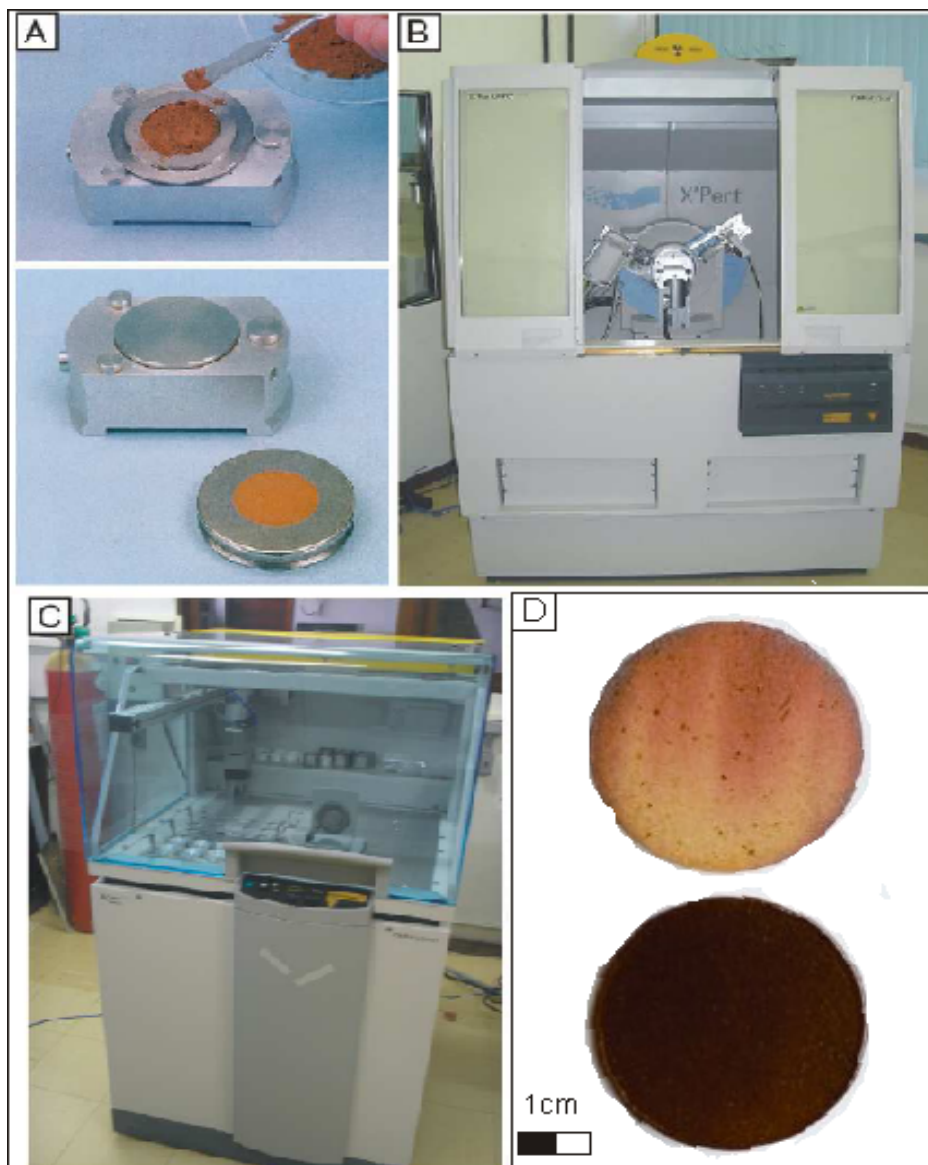
6.2.2 Mineralogia (DRX)

Para as análises mineralógicas foram utilizadas as 30 amostras oriundas dos perfis FD2601 e 2460 e Trincheira 19. As amostras foram separadas segundo critérios texturais e estruturais em horizontes e fácies, a partir daí foram individualizadas as porções singulares de cada amostra e posteriormente pulverizadas para as análises. Foram efetuadas 60 análises de DRX para os três perfis.

A preparação das amostras para difração de raios-X foi efetuada a partir do método do pó, com instrumento difratômetro de raios-X PANalytical X'Pert MPD-PRÓ equipado com ânodo de Cu ($\lambda=1,5406$) e os resultados foram obtidos com o auxílio do *software* X'Pert High Score Plus, que os compara com as fichas do banco de dados do *International Center on Diffraction Data* (ICDD) (Figura 5).

Com a difração de raios-X se buscou identificar as fases minerais presentes em cada porção das amostras representativas dos horizontes e fácies correspondentes dos perfis estudados, caracterizando sua cristalinidade e evolução no decorrer do desenvolvimento dos perfis.

Figura 6.1: Equipamentos utilizados nas análises de DR-x e FR-X. (A): preparação de amostras para DR-X (método do Pó), (B) Difratorômetro X'Pert MPD-PRO PANalytical; (C) Espectrômetro sequencial *AxiosMinerals*; (D): Pastilhas prensadas para FR-X.



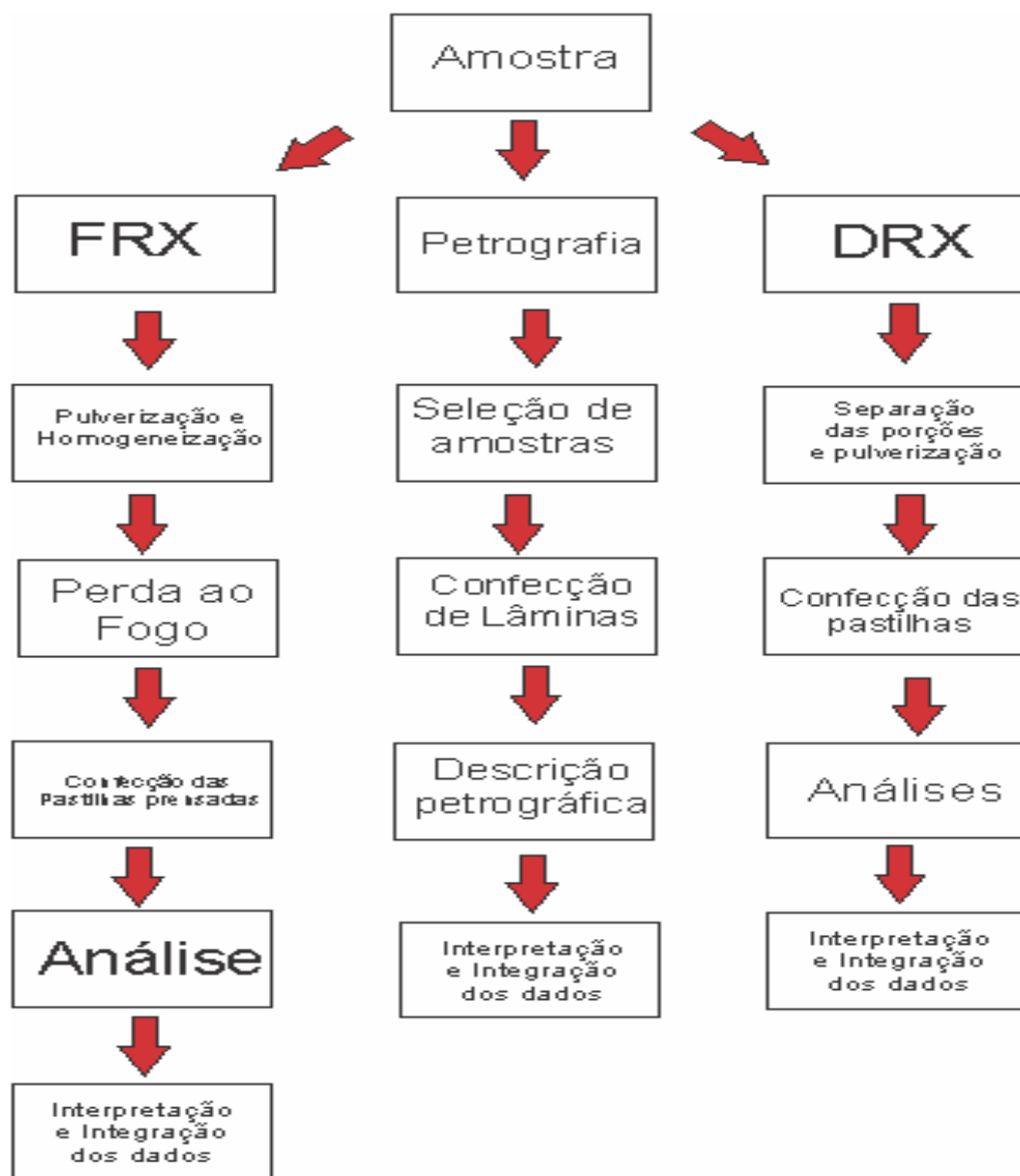
6.2.3 Petrografia

Para a petrografia foram utilizadas as mesmas 30 amostras das análises anteriores, as amostras foram separadas a partir de critérios estruturais e texturais afim de buscar reproduzir de forma mais fiel possível as características mais importantes de cada horizonte e suas respectivas fácies.

As lâminas foram confeccionadas no Laboratório de Preparação de Amostras da Faculdade de Geologia da UFPA. As lâminas são de seção polida sem lamínula para análise em microscópio óptico de luz transmitida e refletida.

Na descrição petrográfica buscou-se caracterizar de forma simples, objetiva e direta as feições de cada amostra representativa dos horizontes dos perfis laterítico-bauxíticos, retratando sua mineralogia, relação de gênese, alteração, contato e processos físico-químicos atuantes.

Figura 6.2: Fluxograma explicativo da etapa laboratorial do presente trabalho.



7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 GEOLOGIA LOCAL - DESCRIÇÃO DOS PERFIS – MINERALOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido a partir de 30 amostras oriundas de dois perfis (FD-2601 e FD-2460), e de uma trincheira (TR-19), apresentados na Figura 7.1.

Para a descrição dos horizontes, foi mantida a mesma nomenclatura utilizada pelos técnicos da empresa Vale, e que é usada desde o início dos trabalhos de pesquisa na região de Paragominas feitas pela extinta Docegeo. Foram amostrados e/ou descritos oito horizontes, da base para o topo: Argila Variegada (ARV), Bauxita Amorfa (BA), Bauxita Amorfa/Bauxita Cristalizada (BCBA), Bauxita Cristalizada (BC), Laterita Ferruginosa (LF), Bauxita Nodular Cristalizada (BNC), Bauxita Nodular e Capeamento Argiloso ou Argila de Belterra (CAP).

A denominação foi criada para distinguir os horizontes segundo critérios puramente econômicos, relacionados aos teores de alumina (total e aproveitável) e sílica (total e reativa).

7.1.1 Horizonte Argila Variegada (ARV)

O horizonte ARV possui cerca de 20 cm de espessura, representa a porção mais inferior do perfil de alteração. Apresenta-se como blocos centimétricos a decimétricos de coloração esbranquiçado-variegada, de aspecto incoeso bastante friável com estruturação acamadada, semelhante a feições primárias da rocha-mãe sedimentar (Figura 7.2).

Na Figura 7.2 nota-se a estruturação acamadada da rocha, com níveis milimétricos a centimétrico de material esbranquiçado descontínuo, rico em caulinita de boa cristalinidade, intercalado com porções de coloração rosada a amarronzada há predominância de gibbsita de boa cristalinidade e subordinadamente a presença de caulinita e hematita, ambas de baixa cristalinidade.

Mineralogicamente, em difratogramas de amostra total, observa-se a predominância de caulinita com picos bem definidos e individualizados. Subordinadamente observa-se gibbsita e hematita, com picos de menor intensidade e com características de mais baixa cristalinidade, em comparação com a caulinita, com picos mais largos e pouco individualizados (Figura 7.3).

Porções heterogêneas desse horizonte, representando diferentes tipos de texturas, foram analisadas separadamente por difratometria de Raios-X, como apresentado na Figura 7.4.

Figura 7.1: Perfis litoestratigráficos esquemáticos dos furos FD2601 e FD2460 e da trincheira TR19.

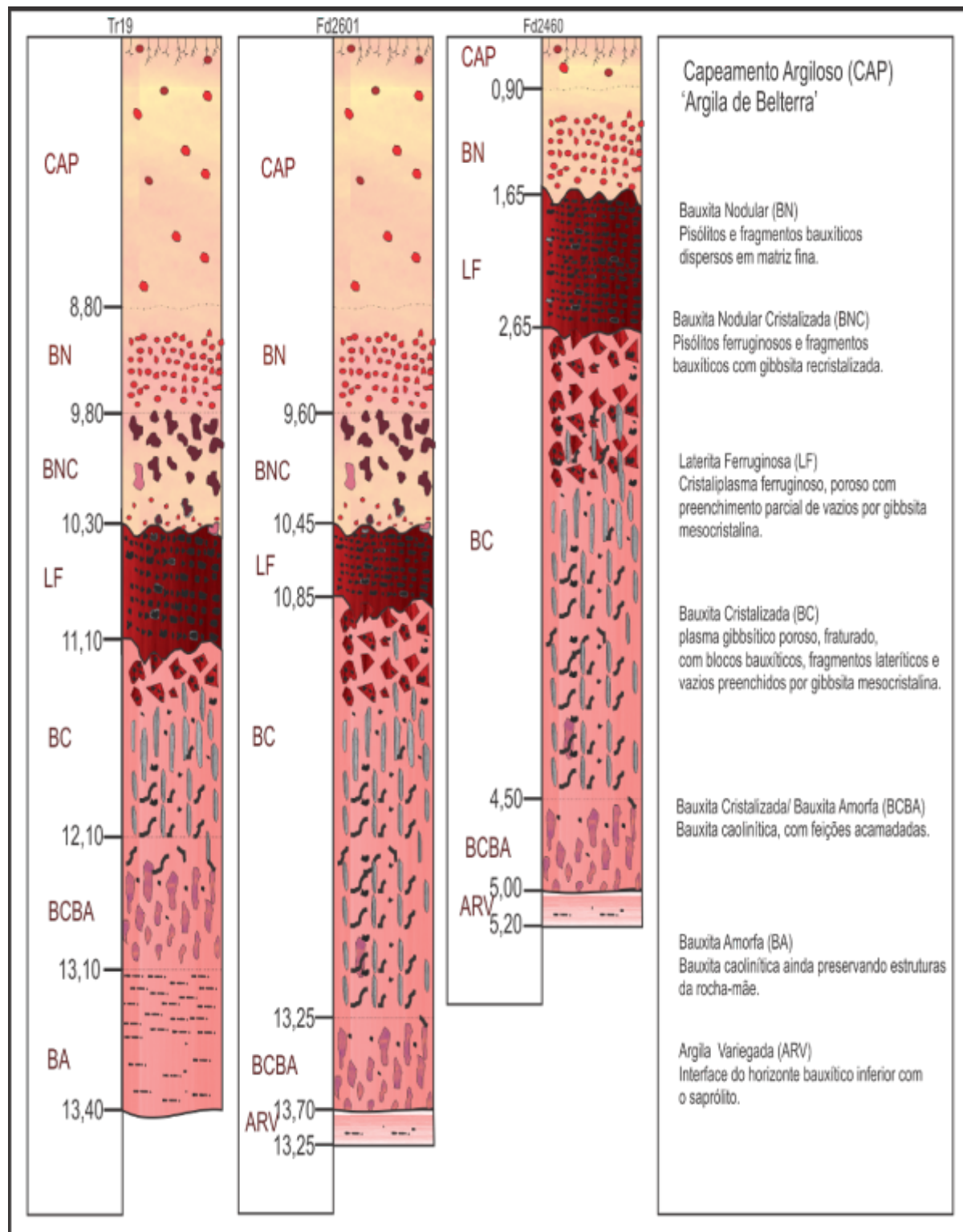


Figura 7.2: Amostra de mão representativa do Horizonte ARV.



Figura 7.3: Difratoograma representativo da mineralogia do Horizonte Argila Variegada (ARV).

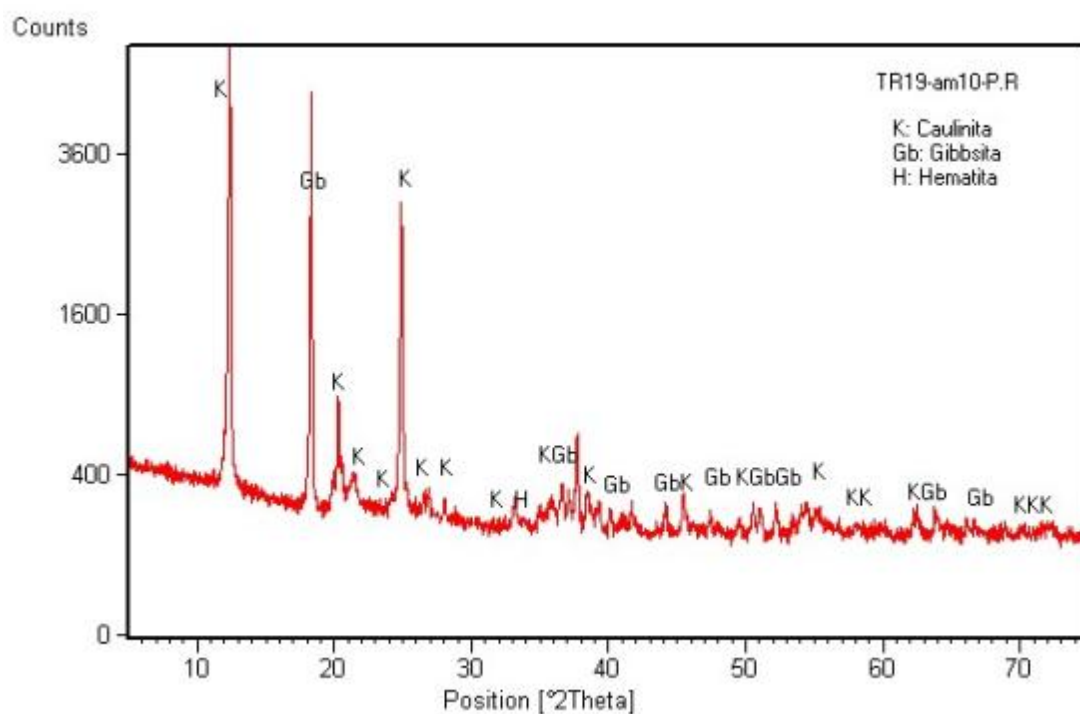
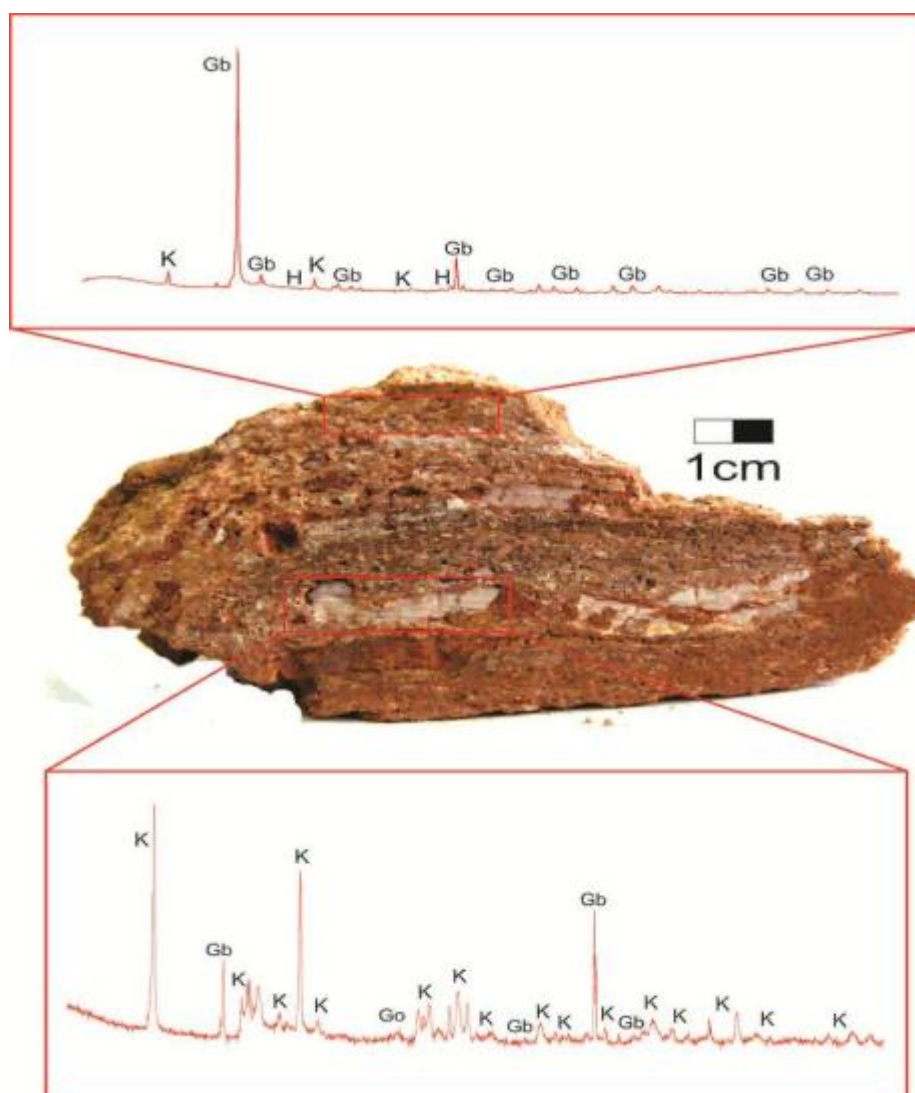


Figura 7.4: Amostra representativa do horizonte de Argila Variegada (ARV) com difratogramas representando as porções analisadas por difração de raios-X.



7.1.2 Horizonte Bauxita Amorfa (BA)

O horizonte BA apresenta em média 30 a 40 cm, com distribuição irregular pela área, neste caso presente somente no perfil da trincheira 19. É formado por blocos centimétricos a decimétricos, de coloração amarronzada com acamamento milimétrico a centimétrico, semelhante ao do horizonte ARV, formado por camadas milimétricas ricas em gibbsita e oxi-hidróxidos de Fe e camadas milimétricas a centimétricas de material gibbsito-caulinítico (Figura. 7.5).

Figura 7.5: Amostra representativa do Horizonte Bauxita Amorfa (BA).



No Horizonte a caulinita é o mineral mais abundante, apresenta cristalinidade elevada, mostrada nos difratogramas, onde os picos 001 e 002 estão bem definidos e individualizados, com boa intensidade e os tripletes característicos bem marcados, porém, em algumas amostras os tripletes se tornam-se por vezes dubletes mais largos (Figuras 7.6 e 7.7).

A gibbsita apresenta-se sempre com boa cristalinidade, os picos principais estão sempre bem individualizados e intensos (Figuras 7.6 e 7.7).

Os óxi-hidróxidos de ferro, representados por hematita e goethita apresentam-se em quantidades inferiores a 10% e grau de cristalinidade baixo, a goethita apresenta substituição de FeOOH por AlOOH , evidenciado pelo deslocamento dos picos principais do mineral, como mostram os difratogramas das figuras 7.6 e 7.7. A hematita apresenta cristalinidade baixa, formando filmes ou películas milimétricas em alternância com camadas argilosas.

A característica principal deste horizonte é a preservação de estruturas parentais, tais como o acamamento original. Nesse caso, a preservação do bandamento milimétrico com alternância de níveis argilosos ricos em caulinita e grãos reliquiares de quartzo de coloração róseo-esbranquiçada níveis avermelhados ricos em hematita e goethita (Figura 7.7 e 7.8).

Figura 7.6: Difratogramas representativos do Horizonte Bauxita Amorfa; (PR): porção róseo; (PA): porção amarela.

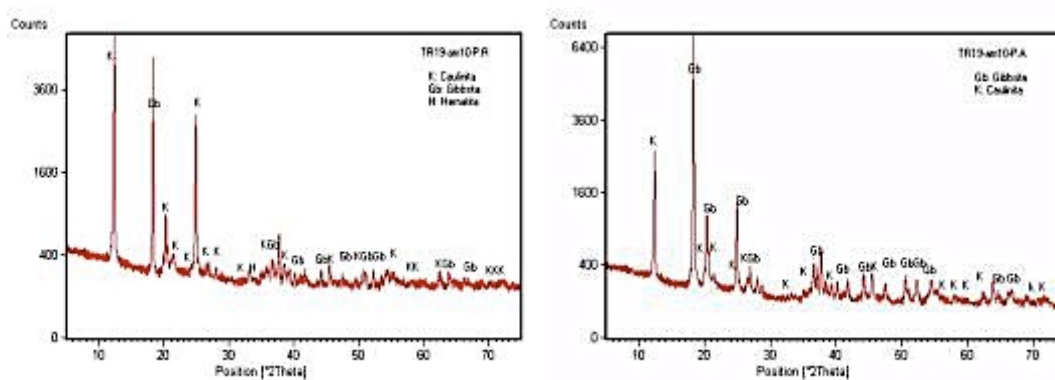


Figura 7.7: Amostra representativa do horizonte Bauxita Amorfa (BA) com difratogramas representando as porções analisadas por difração de raios-X

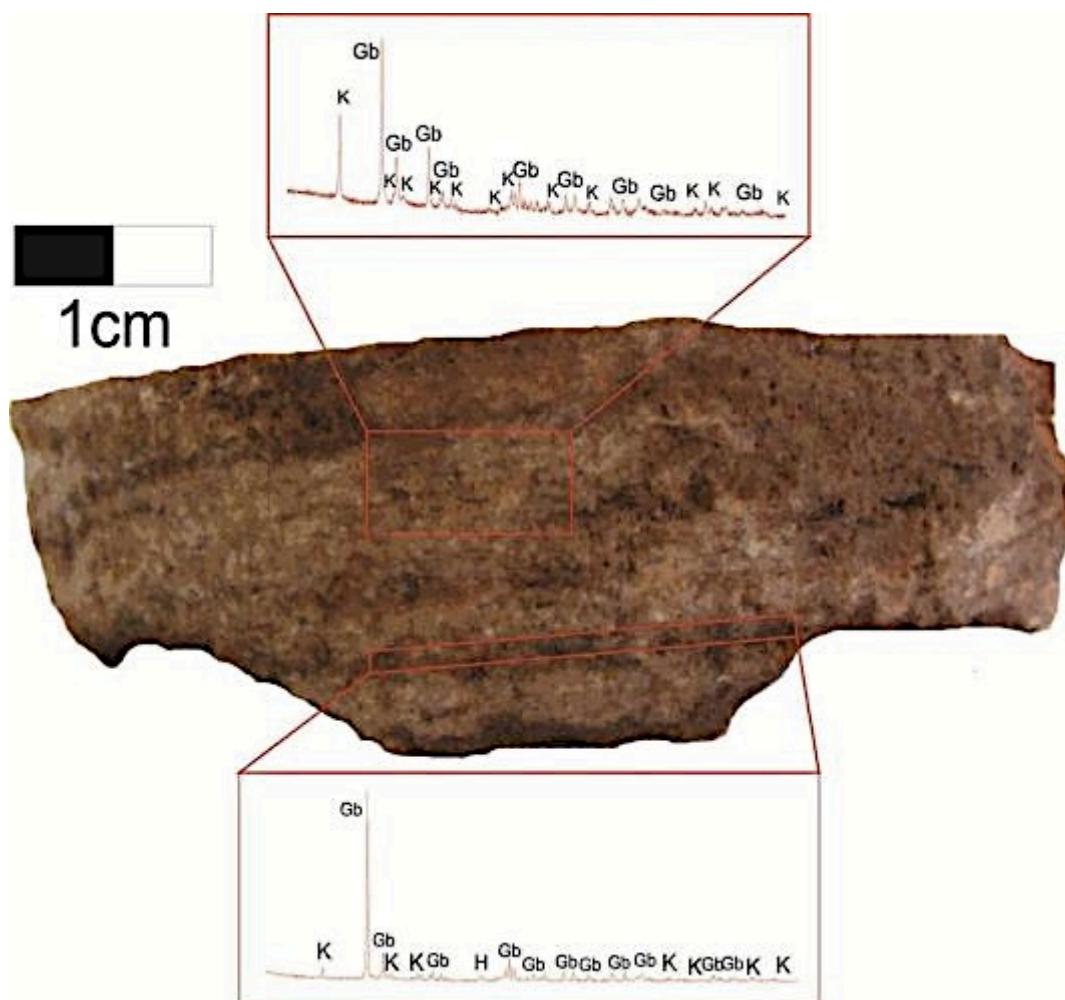
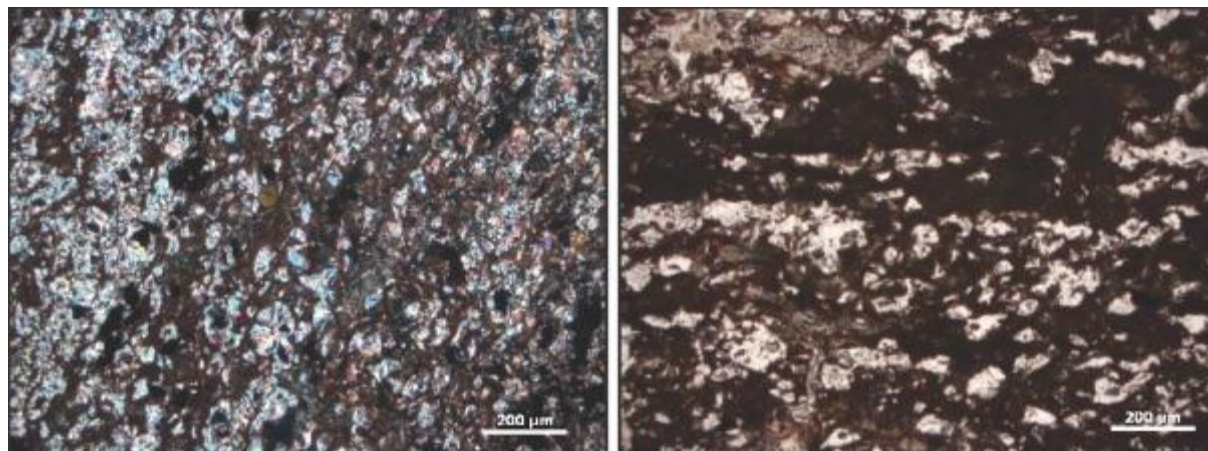


Figura 7.8: Fotomicrografias representativas do horizonte Bauxita Amorfa, ambas evidenciando o acamamento reliquiar, A: nicóis cruzados e B: nicóis paralelos.



Foram observados no mínimo dois tipos de gibbsita ou gerações de gibbsita, uma mais fina cripto a microcristalina compondo juntamente com a caulinita a matriz dos horizontes bauxíticos e outra meso a macrocristalina, tardia, resultante de processos de recristalização.

7.1.3 Horizonte Bauxita Cristalizada/ Bauxita Amorfa (BCBA)

O Horizonte Bauxita Cristalizada/ Bauxita Amorfa apresenta espessura de 0,5 a 1m, com textura arenítica por vezes colunar, de coloração rosada a amarronzada, com fragmentos bauxíticos e pseudopisólitos gibbsíticos associados, por vezes conservando acamamento reliquiar (Figura 7.9).

Figura 7.9: Amostra representativa do Horizonte BCBA.



É a porção intermediária entre o saprólito e a zona do minério BC, apresentando características dos dois horizontes.

O horizonte apresenta conteúdo de gibbsita superior a 50% (Figura 7.10), de textura microcristalina na matriz e meso a macrocristalina nas porções recristalizadas (Figura 7.11).

A caulinita é o segundo mineral mais abundante, se apresenta de duas formas, uma caulinita de baixa cristalinidade com picos largos e pouco intensos e outra caulinita com picos bem individualizados, podendo ser de diferentes gerações, ou seja, produto de recristalização. Os oxihidróxidos de ferro, são encontrados em concentrações modestas (abaixo de 5%), ocorrem como filmes e agregados geralmente nas porções mais periféricas de poros e cristais de gibbsita (figura 7.11).

Outros minerais como quartzo e anatásio são encontrados em concentrações inferiores a 2% e nem sempre estão presentes, ou seja, não são representativos em todas as amostras, logo, aparecem como picos pouco intensos e largos de difícil separação.

Figura 7.10: Difratogramas representativos do Horizonte Bauxita Criсталizada/ Bauxita Amorfa. (P.P: porção pisolítica; P.R: porção róseo; A.T: Amostra Total).

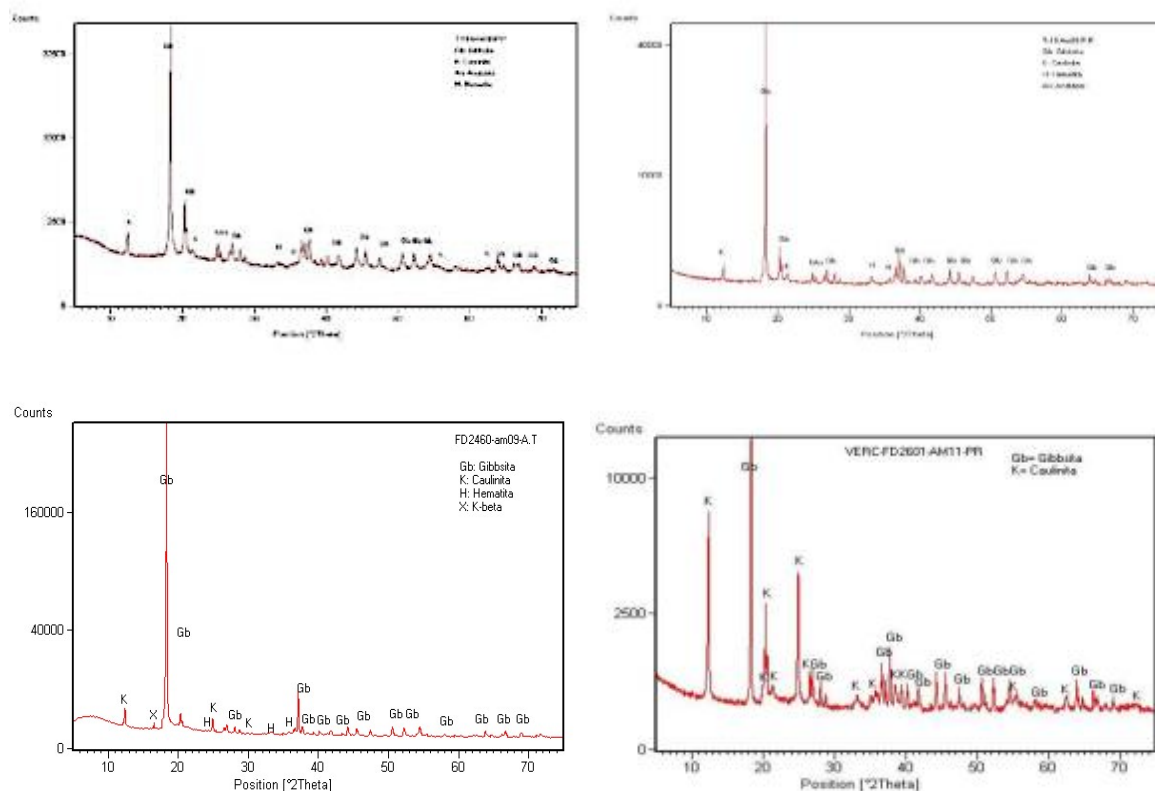
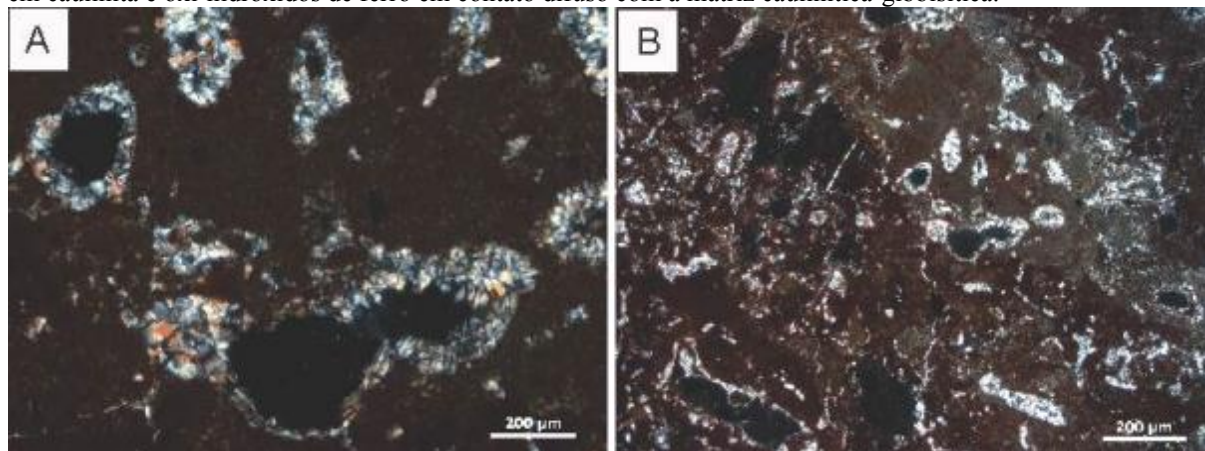


Figura 7.11: Fotomicrografias representativas do Horizonte BCBA; A: Poros semiopreenchidos por gibbsita macrocristalina; B: Textura da rocha com especial detalhe as porções descontínuas amareladas e avermelhadas, ricas em caulinita e oxi-hidróxidos de ferro em contato difuso com a matriz caulinitica-gibbsítica.

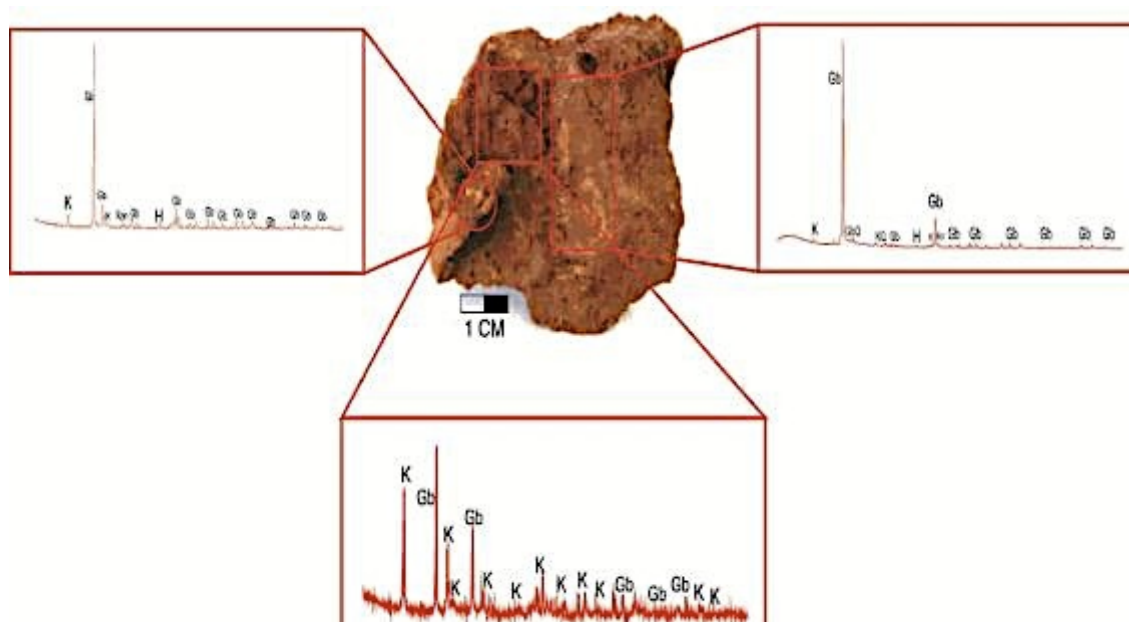


Porções heterogêneas desse horizonte, representando diferentes tipos de texturas, foram analisadas por difratometria de Raios-X, como mostram as Figuras 7.10 e 7.12.

Nota-se através dos difratogramas duas caulinitas com características cristalinhas bem diferentes na mesma amostra, uma de boa cristalinidade, com picos bem desenvolvidos, intensos e individualizados, e outra de baixa cristalinidade com picos pouco intensos e pouco individualizados.

Segundo Kotschoubey *et al* (2005), isso pode ser resultado da degradação de caulinita bem cristalizada formando um produto sacaroidal de baixa cristalinidade ou mesmo a geração de caulinita a partir do quimismo e das reações ocorridas a partir da percolação de fluidos silico-aluminosos mal cristalizados ou amorfos.

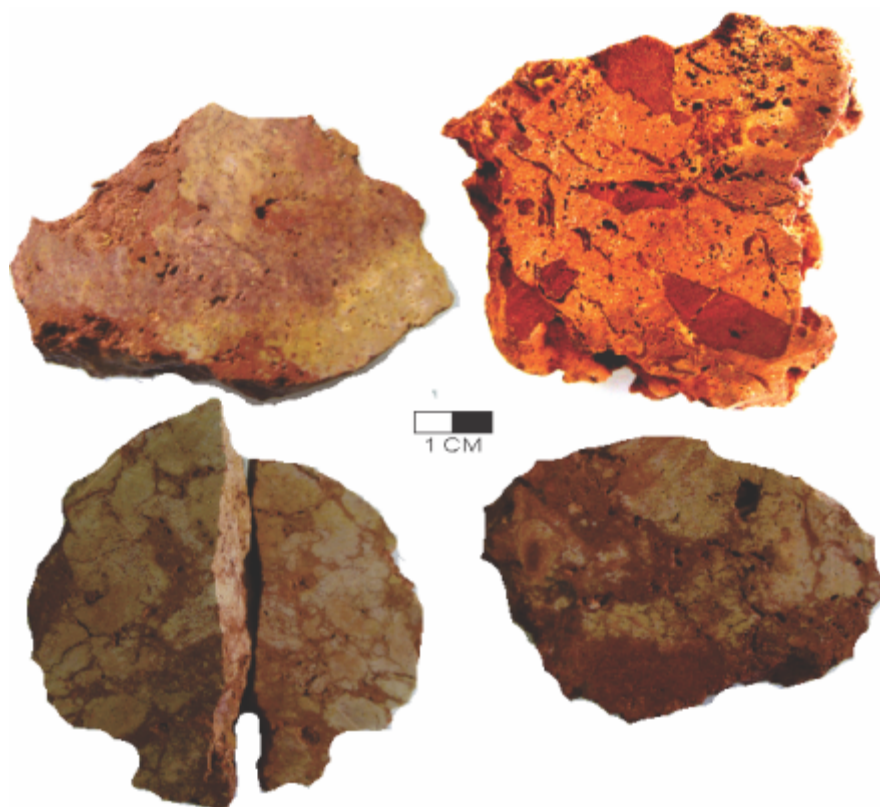
Figura 7.12: Amostra representativa do horizonte Bauxita Cristalizada/Bauxita Amorfa (BCBA) com difratogramas representando as porções analisadas por difração de Raios-X.



7.1.4 Horizonte Bauxita Cristalizada (BC)

O horizonte BC possui uma grande variação de espessura, podendo ser de um metro, no caso do perfil da TR19, 1,85 metros no perfil do FD2460 e alcançar 2,20 metros no perfil do FD2601. É formado por blocos centimétricos a decimétricos, castanho-avermelhados, cristalizados, com aspecto macro definido por porosidade elevada com porções cavernosas com poros conectados, associados à pisólitos ferruginosos milimétricos a centimétricos, a matriz é fina com porções descontínuas de material creme-amarelado (Figura 7.13).

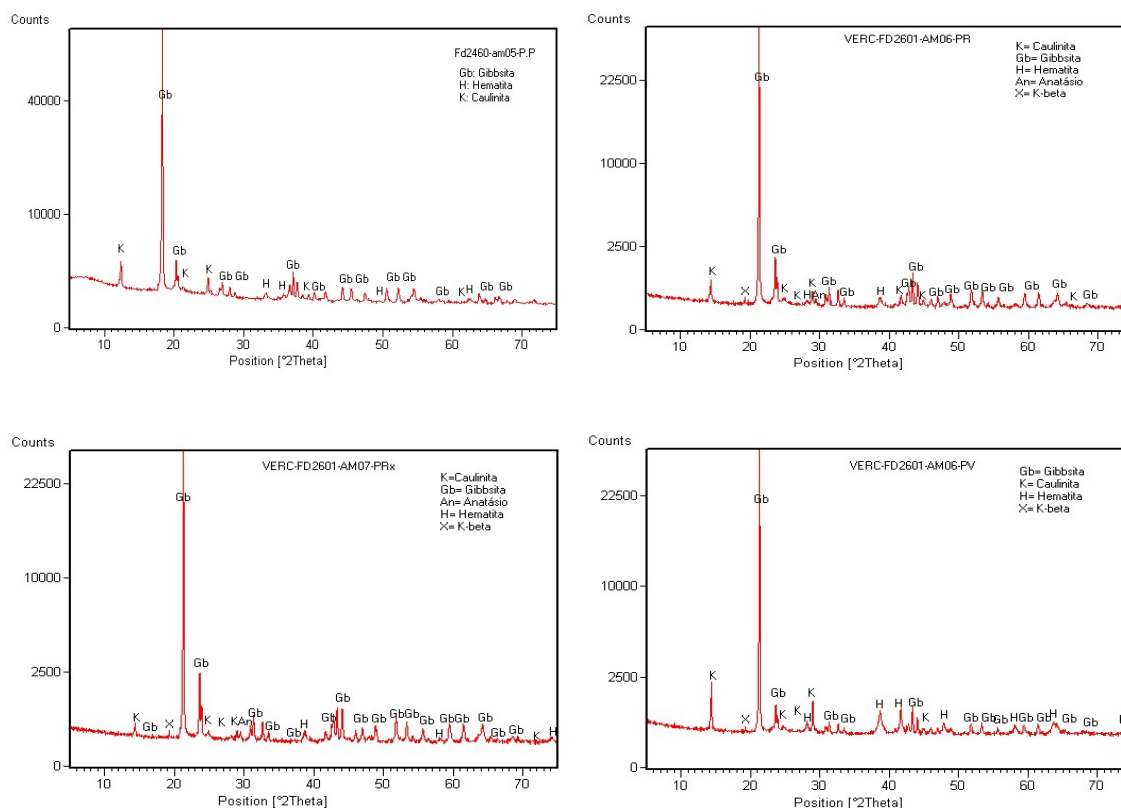
Figura 7.13: Amostras representativas do Horizonte BC.



No horizonte Bauxita Cristalizada, há uma subdivisão faciológica, entre uma porção pisolítica/ nodular e uma porção colunar maciça.

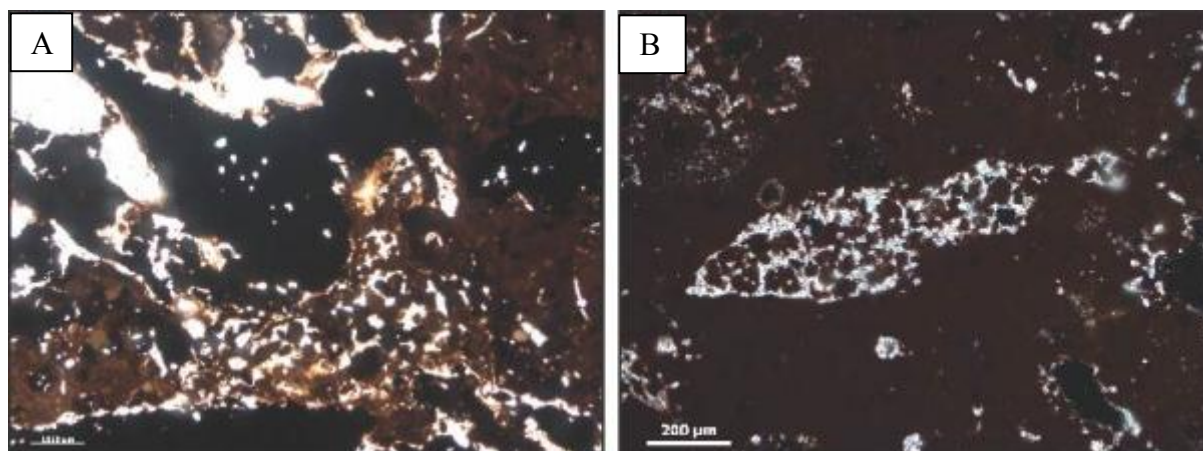
A porção nodular é formada por pisólitos ferruginosos e bauxíticos ricos em gibbsita de boa cristalinidade, caulinita, anatásio e hematita de baixa cristalinidade em quantidades subordinadas, cimentados por bauxita fina creme-amarelada a marrom (Figura 7.14).

Figura 7.14: Difratogramas representativos do horizonte BC facies pisolítica/ nodular, apresentando a mineralogia das porções selecionadas segundo criterios texturais, P.P: Pisólitos, P.R: porção róseo, P.Rx: porção arroxçada, P.V: porção avermelhada.



Os pisólitos vão tornando-se maiores ($>10\text{cm}$) em direção ao topo, até tornarem-se coesos e compactos com aspecto maciço correspondentes a porção colunar (Figura 7.15).

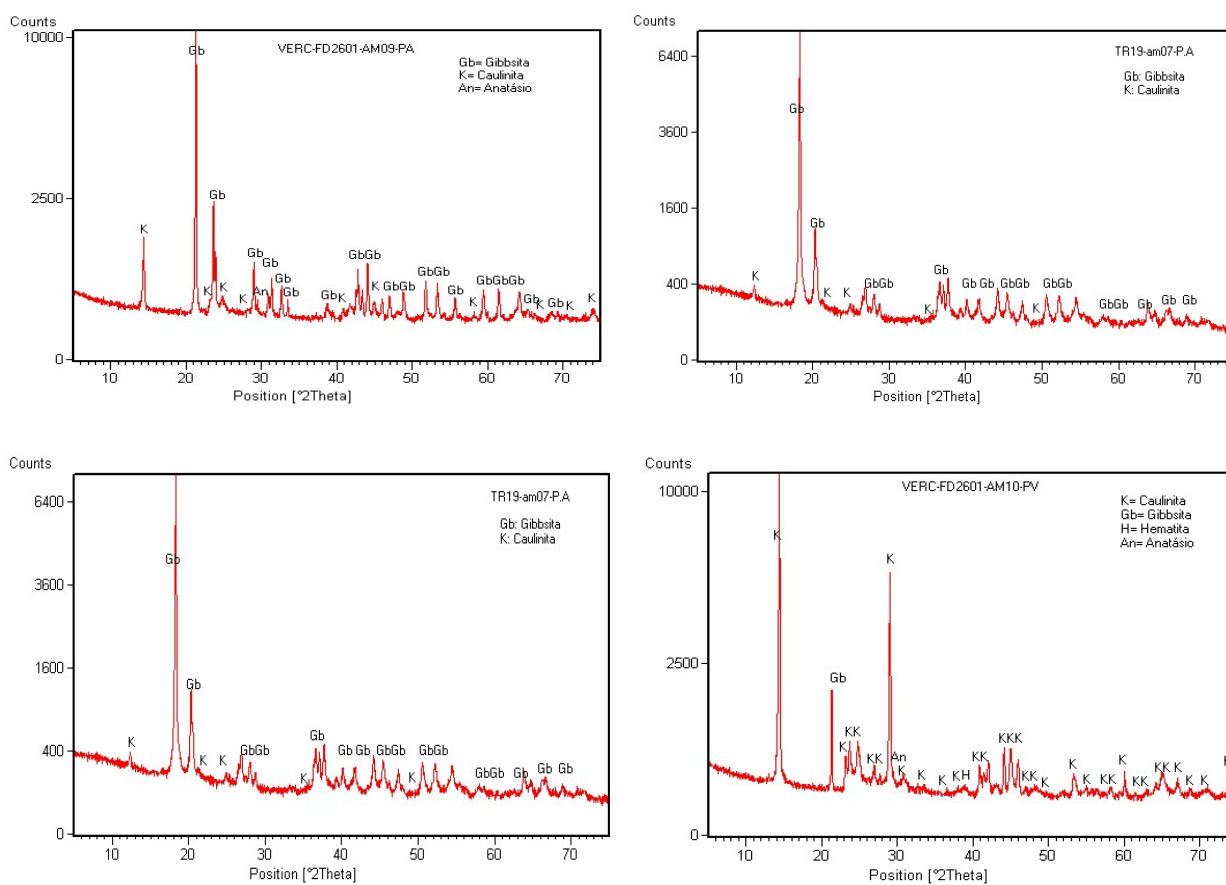
Figura 7.15: Fotomicrografias mostrando a porção colunar de BC, em A: matriz bauxítica englobando crosta ferruginosa; em B: Pisólito ferruginoso degradado e substituído por gibbsita mesocristalina.



A porção colunar é porosa/ cavernosa, possui geralmente textura fina a média de coloração rosada a arroxeadas, até amarronzada. Os pseudopísólitos gibbsíticos englobam por vezes fragmentos bauxíticos e lateríticos e não possuem forma nem tamanhos definidos (Figura 7.13).

A gibbsita, via de regra apresenta cristalinidade elevada, enquanto caulinita, hematita, goethita e anatásio apresentam cristalinidade baixa com picos largos e de baixa intensidade e por vezes encontram-se associados mostrando picos ainda mais largos, inclusive nas porções pisolítica e arroxeadas que apresentam concentrações maiores de ferro (Figura 7.16 e 7.18).

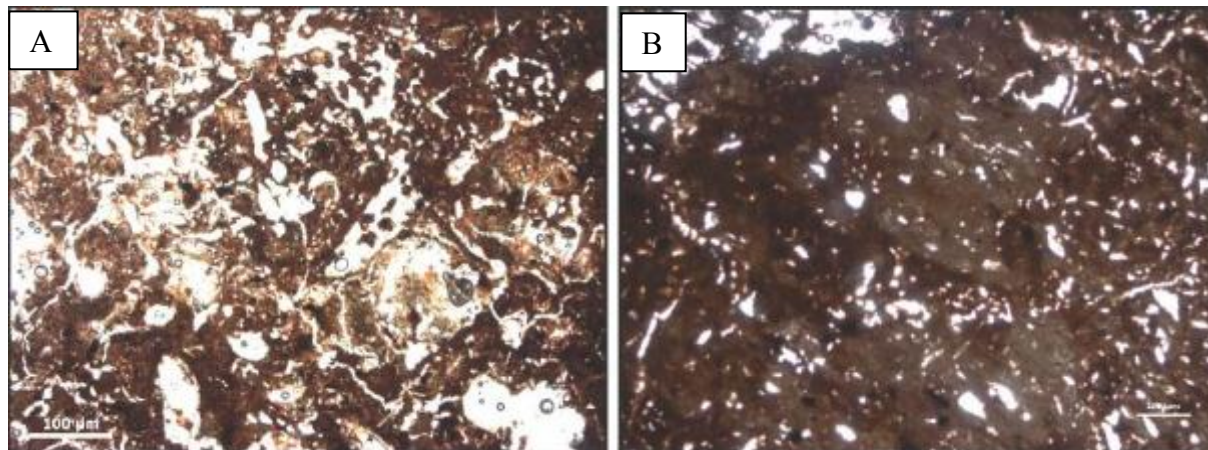
Figura 7.16: Difratogramas representativos do horizonte Bauxita Cristalizada Fácies colunar maciça. (P.P: porção pisolítica; P.R: porção rósea; P.A: porção amarela; P.V: porção vermelha; P.Rx: porção roxa;)



A matriz é fina, composta por um cristaliplasma gibbsito-caolínítico com impregnações de oxi-hidróxidos de ferro, enquanto os vazios (poros e fissuras) encontram-se parcialmente ou totalmente preenchidos por gibbsita mesocristalina (Figura 7.17).

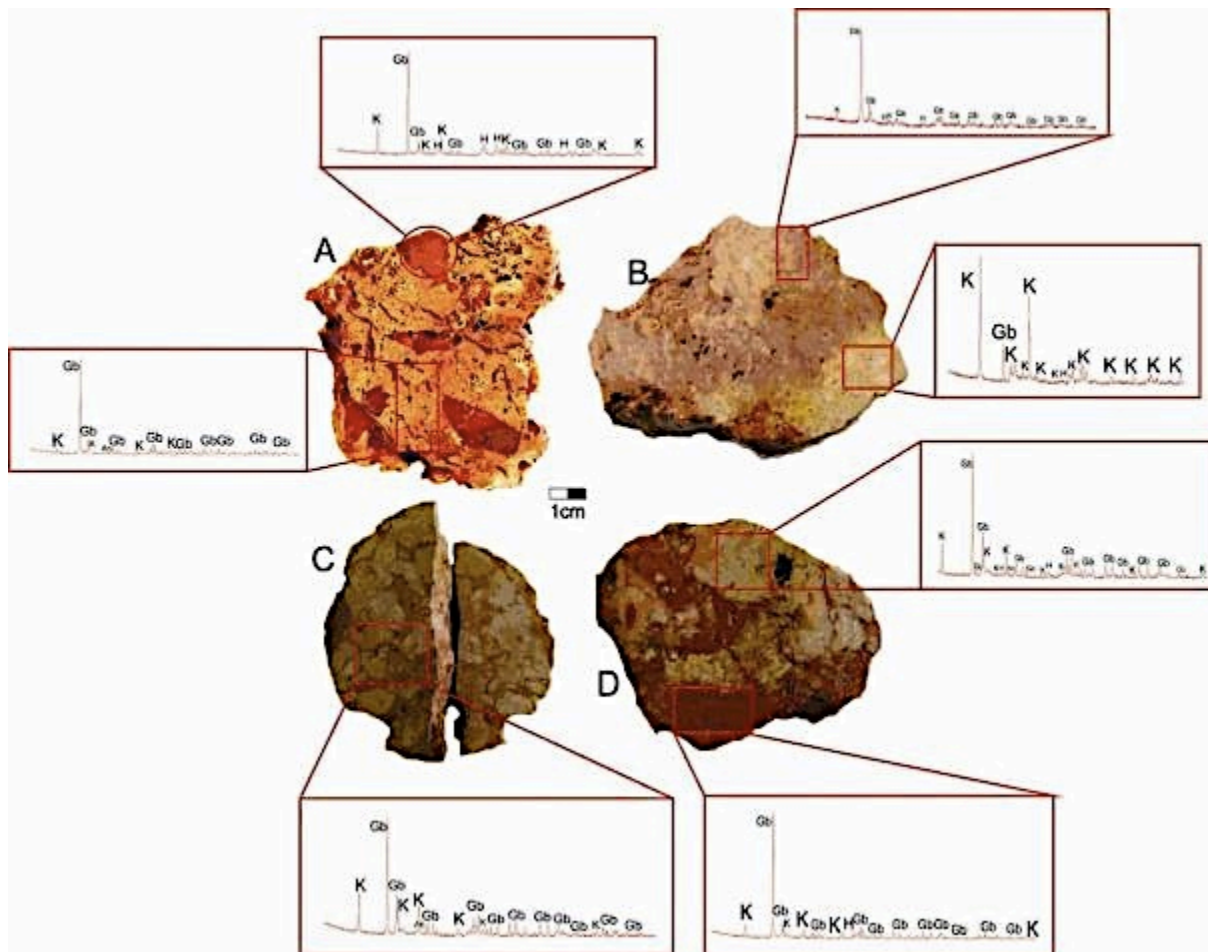
As porções róseas e amarelas apresentam as maiores concentrações de gibbsita e caulinita subordinada, enquanto as porções vermelhas e arroxeadas apresentam hematita e goethita em maiores proporções, como mostram as Figuras 7.16 e 7.18.

Figura 7.17: Fotomicrografias da porção colunar de BC, em A: Textura porosa com grãos de quartzo e pisólitos dissolvidos e substituídos por gibbsita mesocristalina e em B: matriz gibbsito-hematítico-caolinítica englobando pseudopisólitos gibbsíticos (manchas marrons).



Porções heterogêneas desse horizonte, representando diferentes tipos de texturas, foram analisadas separadamente por difratometria de raios-X, como apresentado na Figura 7.18.

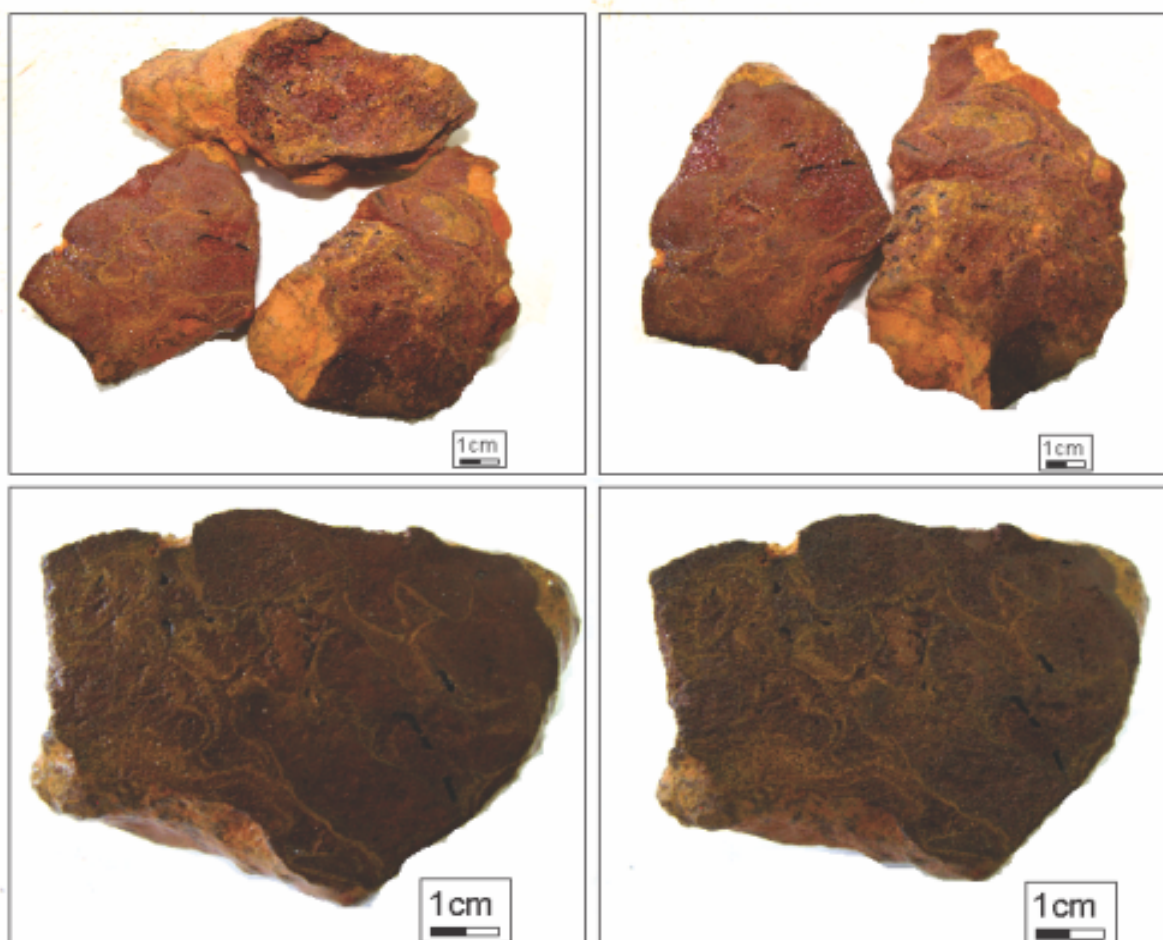
Figura 7.18: Amostra representativa do Horizonte Bauxita Cristalizada (BC) com difratogramas representando as porções analisadas por Difração de Raios-X.



7.1.5 Horizonte Laterita Ferruginosa (LF)

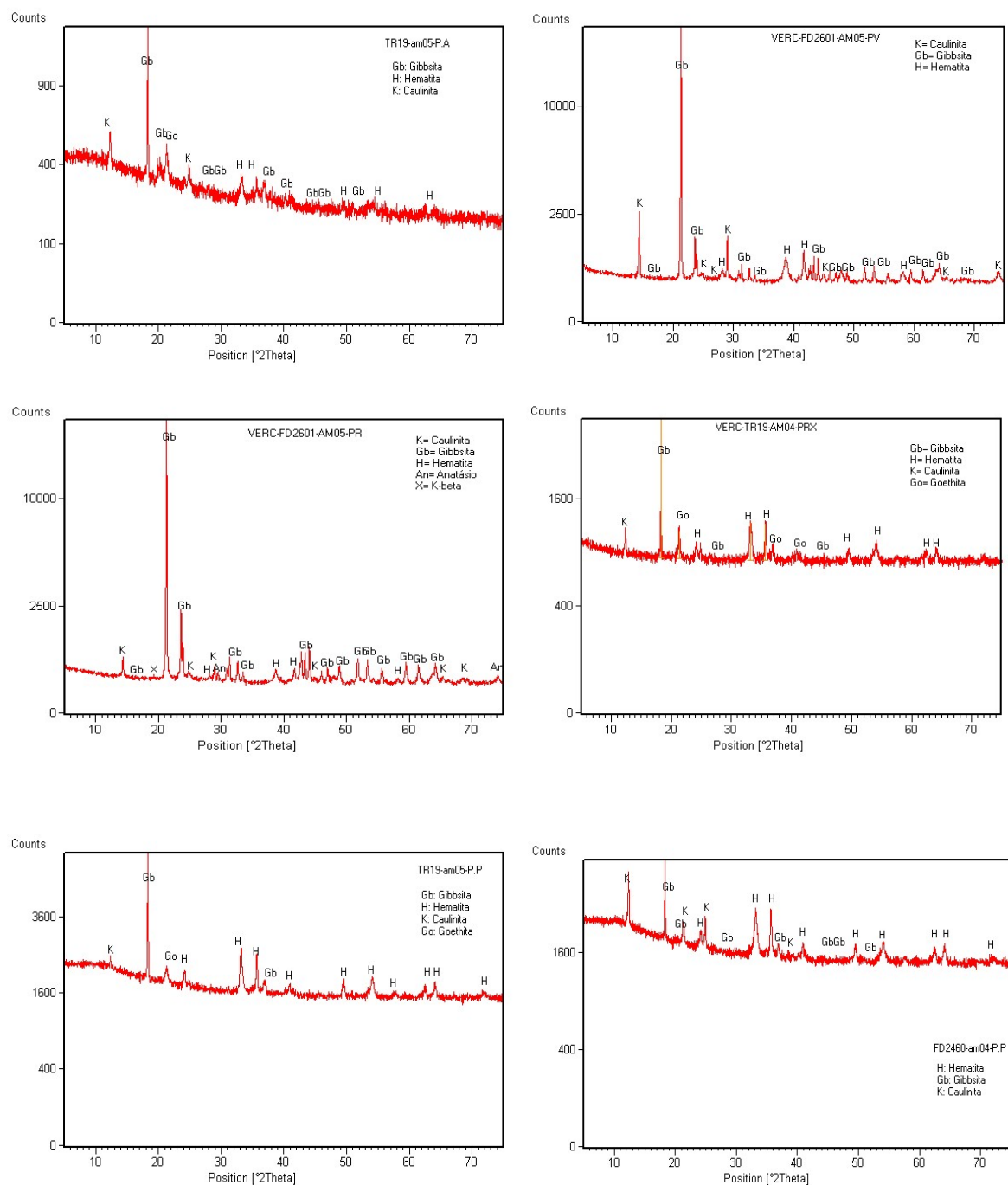
O horizonte LF possui de 40 a 80 cm de espessura, é formado por blocos pisolíticos cimentados por material hematítico-goethítico amarelado, porosos/cavernosos, vermelho-arroxeados, de aspecto terroso (Figura 7.19). Apresenta relação de contato brusca com horizonte sobreposto e gradual com o horizonte Bauxita Cristalizada sotoposto.

Figura 7.19: Amostras representativas do Horizonte LF.



A crosta ferruginosa é essencialmente hematítico-gibbsítica, com picos bem desenvolvidos e individualizados, apresenta ainda goethita aluminosa com substituição de FeOOH por AlOOH na faixa de 10 a 15%, e caulinita ambas de baixa cristalinidade (Figura 7.20). A goethita ainda se apresenta sob a forma de agregados pulverulentos de baixa cristalinidade e substituição de FeOOH por AlOOH na faixa de 20%, corroborando os dados obtidos por Costa (1984) e Kotschoubey *et al* (2005).

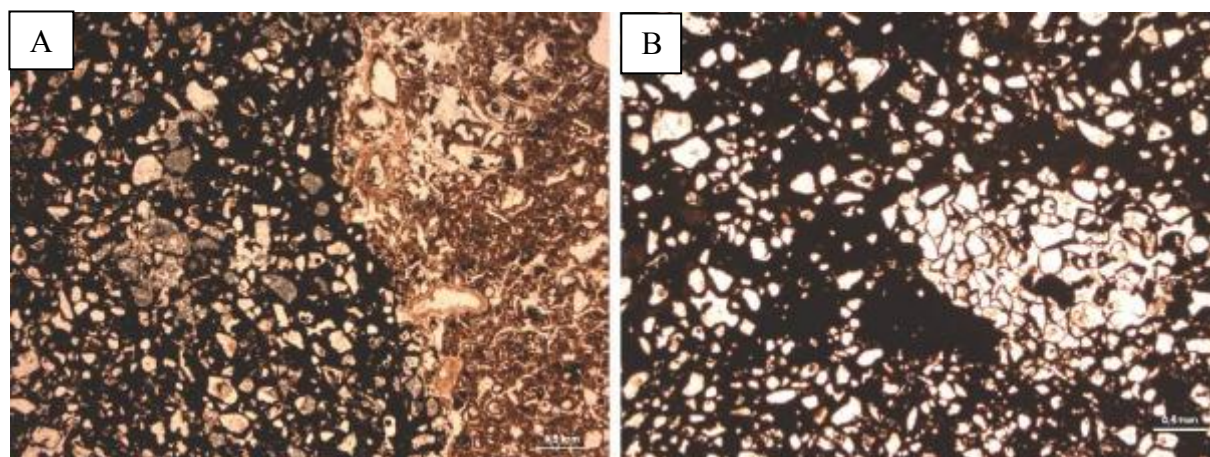
Figura 7.20: Difratogramas representativos do Horizonte Laterita ferruginosa. (P.P: porção pisolítica; P.R: porção róseo; P.A: porção amarela; P.V: porção vermelha; P.Rx: porção roxa).



A crosta ferruginosa pode assumir diversas formas e características físicas, entre elas, colunar, pisolítica e esponjosa, resultado de diferenciação a partir do mesmo material, núcleos arredondados sublinhados por cortéx goethítico e Pseudomatriz mais escura, com porções localizadas e restritas de material friável amarelado, que indicam zona de intensa hidratação (Figura 7.21).

Nos perfis do presente trabalho observa-se que em sua grande maioria a crosta se apresenta fortemente esponjosa e porções subordinadamente pisolíticas. Nas porções esponjosas o material ferruginoso (hematítico) constitui o arcabouço nas cavidades do qual se acumulou argila ou recristalizou gibbsita (Figura 7.21). A crosta cavernosa/porosa/esponjosa representa o estágio de degradação intermediário, caracterizado por interligação ainda notável dos nódulos em estágio de individualização.

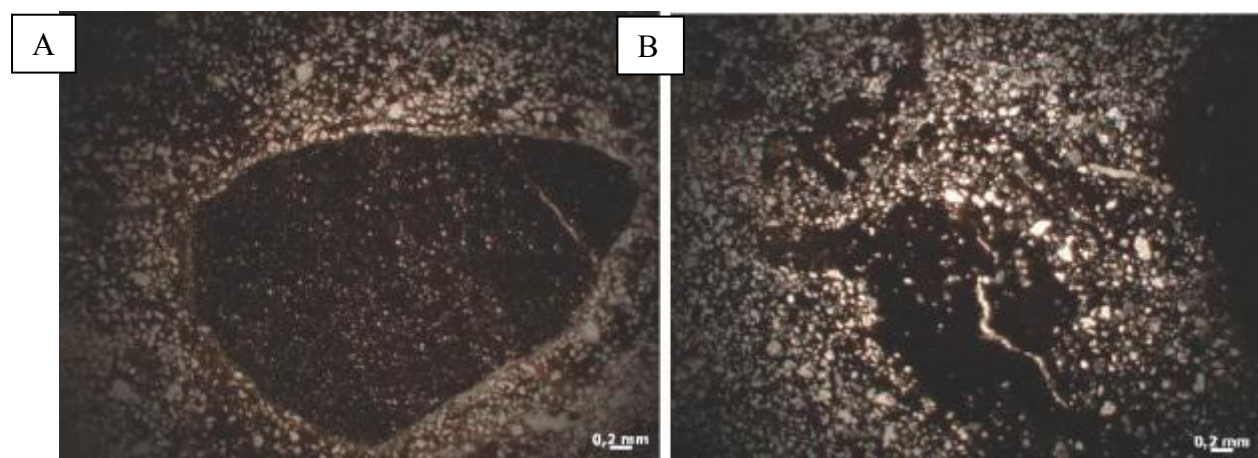
Figura 7.21: Fotomicrografias do horizonte LF porção esponjosa. Em A: contato entre a porção esponjosa essencialmente hematítica com uma porção desferrificada rica em gibbsita, em B: porção esponjosa essencialmente hematítica



Na porção nodular, observa-se que os espaços internodulares encontram-se preenchidos ora por matriz argilosa oriunda do horizonte superior por iluviação (COSTA, 1984); (KOTSCHOUBEY *et al*, 2005), e por gibbsita mesocristalina recristalizada (Figura 7.22).

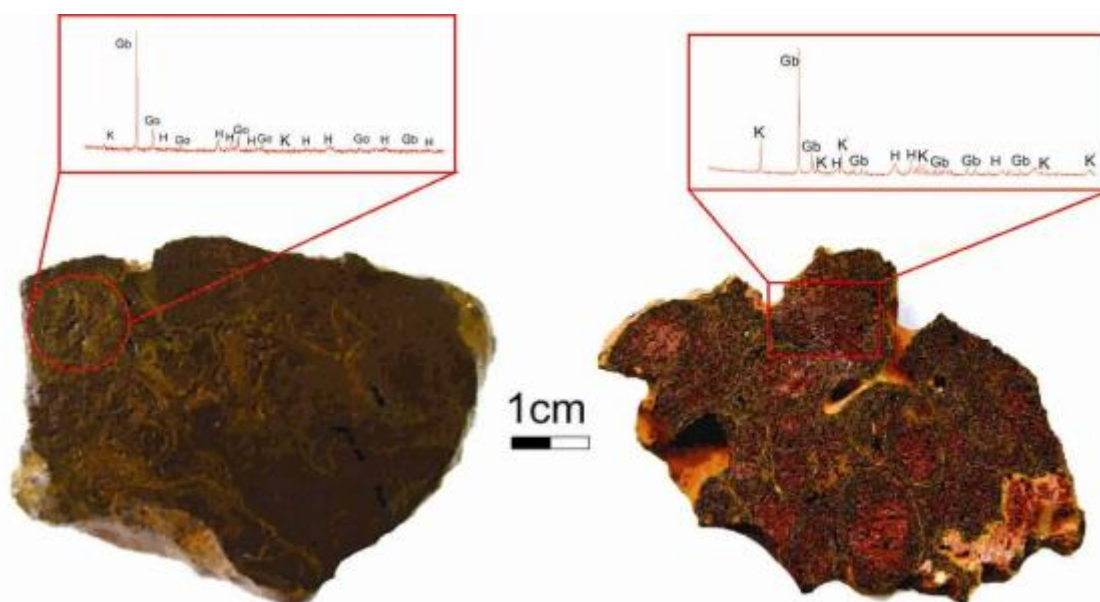
Internamente percebe-se a repetição das estruturas pseudoconglomeráticas (Figura 7.22), resultado da individualização de proto-pisólitos além de películas goethíticas margeando os pisólitos, tais feições são atribuídas a intensa migração de soluções e concrecionamentos internos na crosta ferruginosa muito permeável.

Figura 7.22: Fotomicrografias representativas do Horizonte Laterita Ferruginosa, em A: Pisólito ferruginoso com estruturação interna pseudoconglomerática e vazios parcialmente preenchidos por gibbsita, em B: pisólitos ferruginosos porosos bastante degradados



Porções heterogêneas desse horizonte, representando diferentes tipos de texturas, foram analisadas separadamente por difratometria de raios-X, como apresentado na Figura 7.23.

Figura 7.23: Amostra representativa do horizonte de Laterita Ferruginosa (LF), com difratogramas representando as porções analisadas por Difração de Raios-X.



O horizonte LF apresenta relações de contatos irregulares com o horizonte bauxítico superior bastante brusco e quase gradual com o horizonte bauxítico inferior, mostrando que em algum momento de sua evolução houve período de exposição subaérea e posterior erosão.

A porção nodular formou-se com fragmentação de leitos pelíticos imersos nos arenitos arcoseanos durante a desagregação dos sedimentos parentais, os fragmentos mais coesos e resistentes

a degradação ficaram imersos na matriz arenosa e possibilitou com a evolução dos processos físico-químicos de intemperismo a ferruginização e litificação do conjunto (Kotschoubey *et al*, 2005), logo, infere-se que a porção nodular só ocorre onde os leitos pelíticos eram suficientemente expressivos para permitir tal preservação.

Acredita-se que o preenchimento dos vazios por bauxita é devido a um segundo ciclo de bauxitização, formados dos depósitos de bauxita superiores ou Nodulares.

O quadro da lateritização apresentada sugere que a crosta se formou primeiro, e concomitante a sua degradação houve acumulação de produtos silico-aluminosos que em condições físico-químicas ideais processassem uma nova fase de bauxitização.

7.1.6 Horizonte Bauxita Nodular Cristalizada (BNC)

O horizonte BNC possui em média 50 cm de espessura, apresenta coloração amarelada com porções avermelhadas e rosadas, associadas a pisólitos e porções difusas de material ferruginoso, cimentados por bauxita fina de aspecto porcelanado (Figura 7.24).

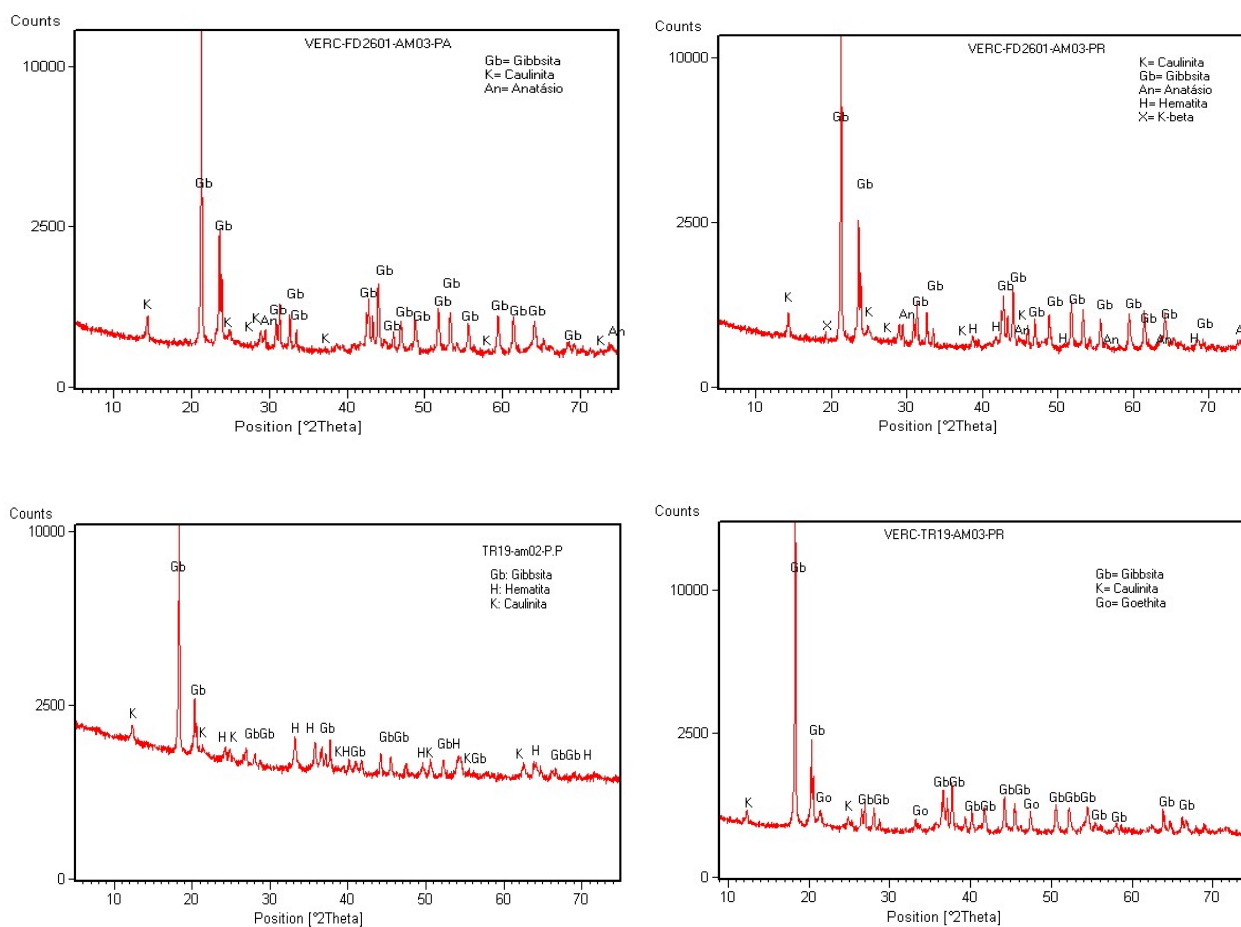
Figura 7.24: Amostras representativas do Horizonte Bauxita Nodular Cristalizada.



É formado principalmente por fragmentos bauxíticos e lateríticos de formas e tamanhos variados, imersos em matriz caulínico-gibbsítica fina. Em certas áreas da Província chega a formar juntamente com o horizonte Bauxita Cristalizada um único pacote bauxítico composto, com diferenças estruturais e mineralógicas, isso ocorre em áreas onde a LF foi totalmente destruída (KOTSCHOUBEY *et al*, 2005b).

A gibbsita invariavelmente apresenta boa cristalinidade, a caulinita apresenta baixa cristalinidade com pico 002 pouco desenvolvido e em forma de dubletes e não tripletes como esperado. Goethita e hematita ocorrem em quantidades modestas, com picos de baixa intensidades e pouco individualizados, inclusive na porção pisolítica (P.P), como mostra a figura abaixo.

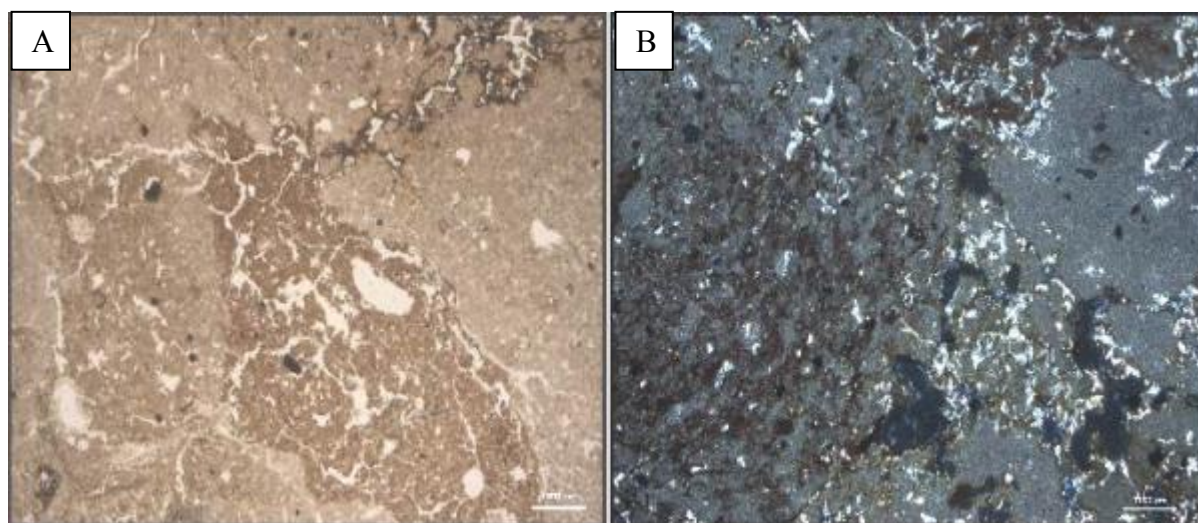
Figura 7.25: Difratogramas representativos do Horizonte Bauxita Nodular Cristalizada. Nota-se a predominância de gibbsita de boa cristalinidade em todas as amostras e subordinadamente caulinita, hematita, goethita e anatásio. . (P.P: porção pisolítica; P.R: porção róseo; P.A: porção amarela;)



A bauxita superior é de textura fina, com elevada porosidade e com gibbsita de cristalinidade inferior a da bauxita Cristalizada do Horizonte BC. Apresenta coloração marrom, bege e rosé e em direção ao topo nota-se o aspecto porcelanado, mais homogêneo.

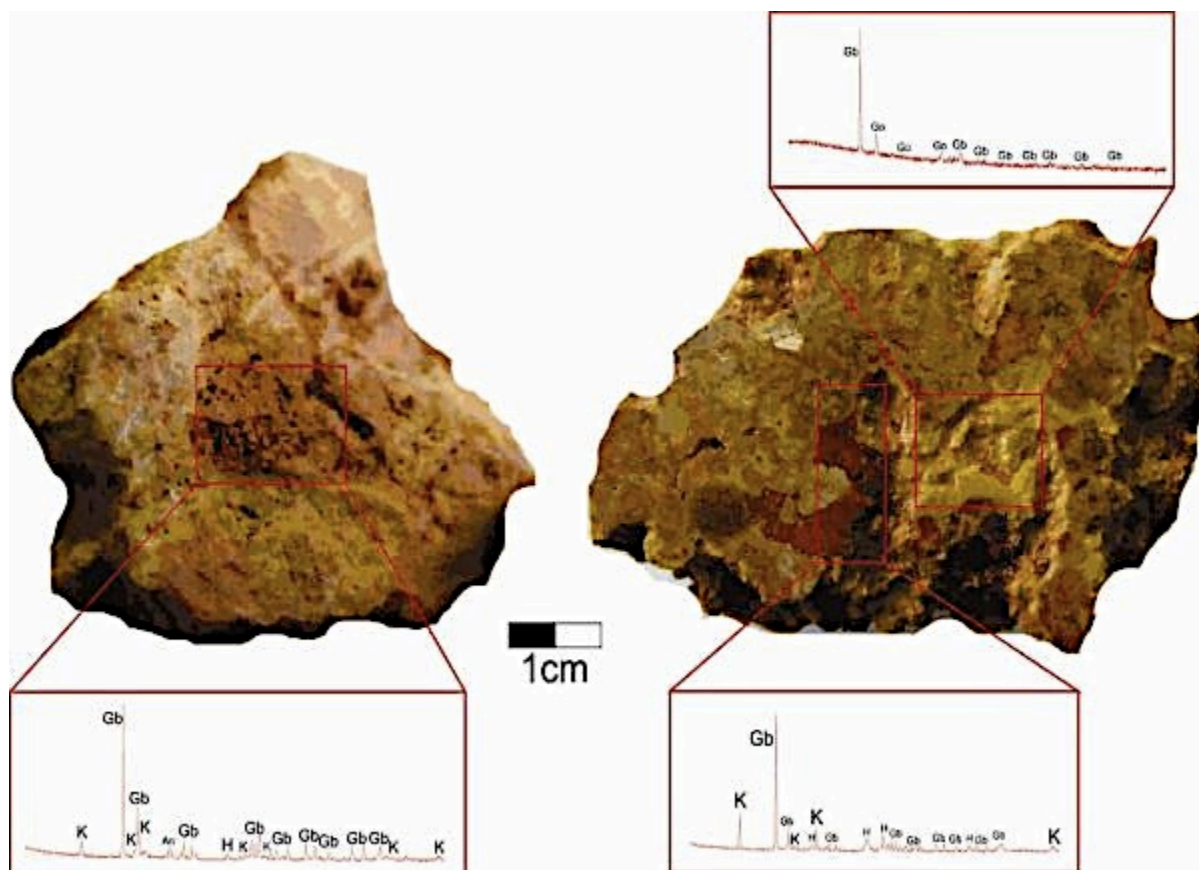
O contato da matriz com as concreções e pisólitos torna-se mais difuso a medida que os oxidróxidos de Ferro são removidos e substituídos por gibbsita, até torna-se homogêneo, os grânulos e pisólitos se transformam e m bauxita pelo desenvolvimento de porosidade secundária através de vênulas que invadem-nos progressivamente (Figura 7.26).

Figura 7.26: Fotomicrografias representativas do Horizonte Bauxita Nodular Cristalizada (BNC); A: Pisólito ferruginoso fraturado e desferrificado com substituição por gibbsita mesocristalina; B: Porção ferruginosa bastante degradada com substituição de minerais de Ferro por gibbsita.



Porções heterogêneas, representando diferenças texturais dentro da rocha, foram analisadas a partir de difratometria de raios-X, como apresentado na Figura 7.27.

Figura 7.27: Amostra representativa do horizonte Bauxita Nodular Cristalizada (BNC), com difratogramas representando as porções analisadas por Difração de Raios-X.



A Figura 7.27 mostra as diferenças texturais na amostra do horizonte BNC, com porção rosada pulverulenta rica em gibbsita e goethita, com caulinita e hematita subordinadas, além das porções pisolíticas, ricas em caulinita, gibbsita e hematita e da porção amarelada, que compõe a matriz da rocha, composta essencialmente de gibbsita.

A existência deste horizonte vem sendo discutido por diversos autores tais como (HORBE; COSTA 1999, KOTSCHOUBEY et al. 2005, KOTSCHOUBEY; TRUCKENBRODT 1981, TRUCKENBRODT; KOTSCHOUBEY 1981,), enfocando a íntima relação com a presença, grau de evolução e espessura dos Horizontes Bauxita Cristalizada (BC) e Bauxita Cristalizada/ Bauxita Amorfa (BCBA), além da presença de depósitos argilosos pretéritos que na verdade constituem parte da matriz de BNC e BN.

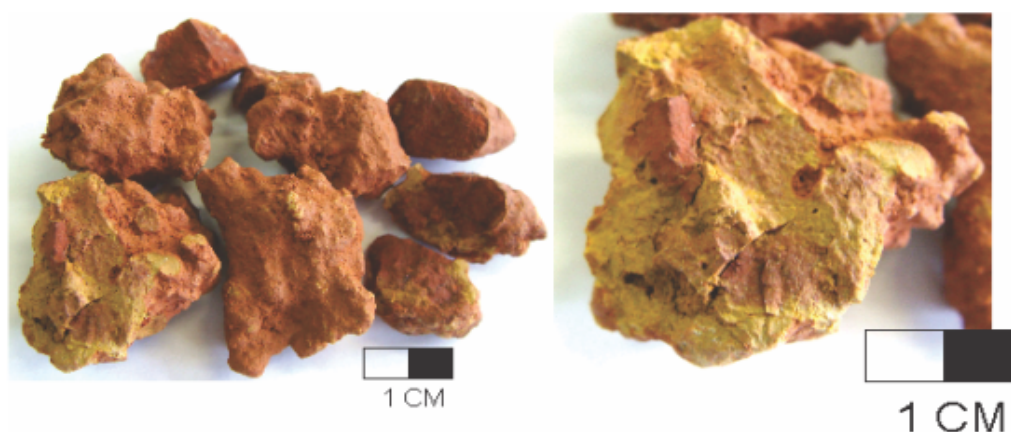
Observa-se ainda a relação de proporcionalidade inversa entre os horizontes bauxíticos inferiores e superiores, onde quanto mais espesso for um dos dois, o outro apresenta espessura reduzida.

7.1.7 Horizonte Bauxita Nodular (BN)

O horizonte Bauxita Nodular (BN) se apresenta em geral com espessura em torno de um metro, apresenta coloração amarelada, formada essencialmente por pisólitos ferruginosos e bauxíticos, dispersos e com fraca cimentação por material bauxítico-argiloso fino (Figura 7.28). Observa-se ainda em alguns perfis uma granodecrescência ascendente e discreta laminação pela alternância granulométrica.

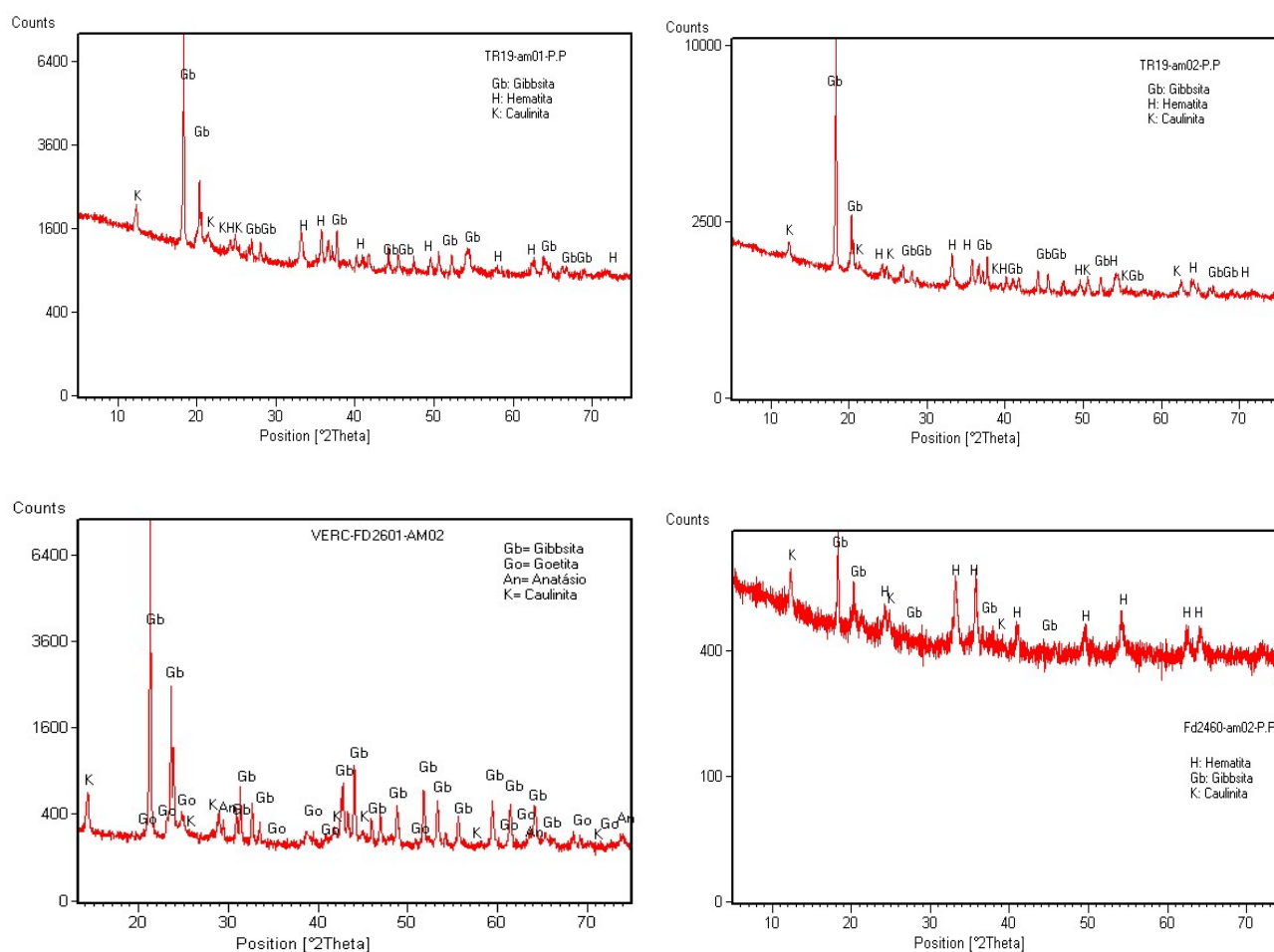
A rocha é formada por pisólitos milimétricos a centimétricos (0,2-4 cm), irregulares, com bordas arredondadas e angulosas, alongados, de coloração avermelhada, com porções amareladas, róseos e creme-acinzentadas e matriz amarelada envolvendo os pisólitos (Figura 7.27).

Figura 7.28: Amostra representativa do Horizonte Bauxita Nodular.



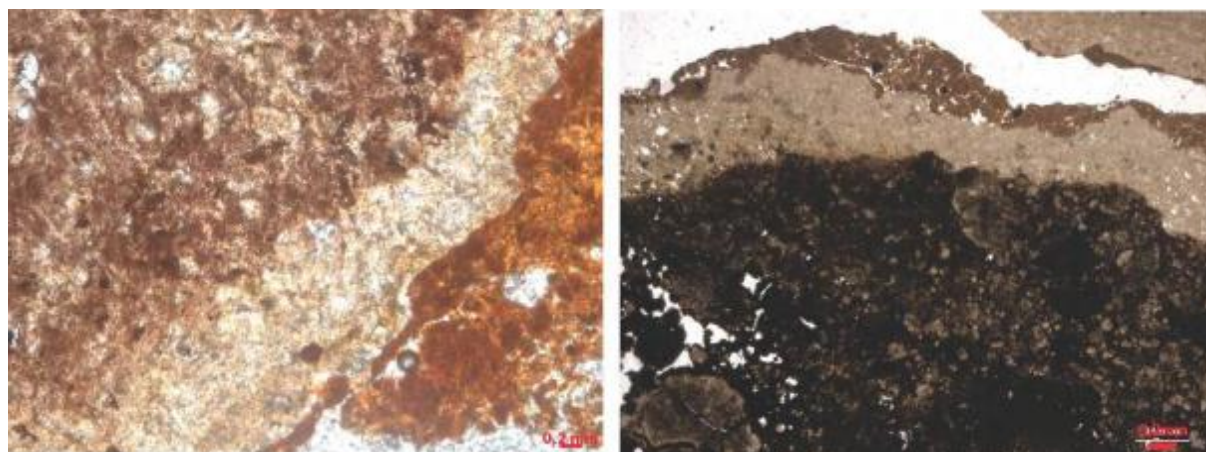
Os pisólitos são compostos essencialmente por gibbsita e hematita, subordinadamente caulinita e goethita. A gibbsita apresenta na maioria das vezes boa cristalinidade exceto na amostra FD2460-AM02-P.P, onde apresenta picos largos e pouco intensos e individualizados. A hematita apresenta picos bem desenvolvidos e individualizados, enquanto caulinita e goethita geralmente apresentam cristalinidade baixa (Figura 7.29).

Figura 7.29: Difratomogramas representativos do horizonte Bauxítita Nodular.



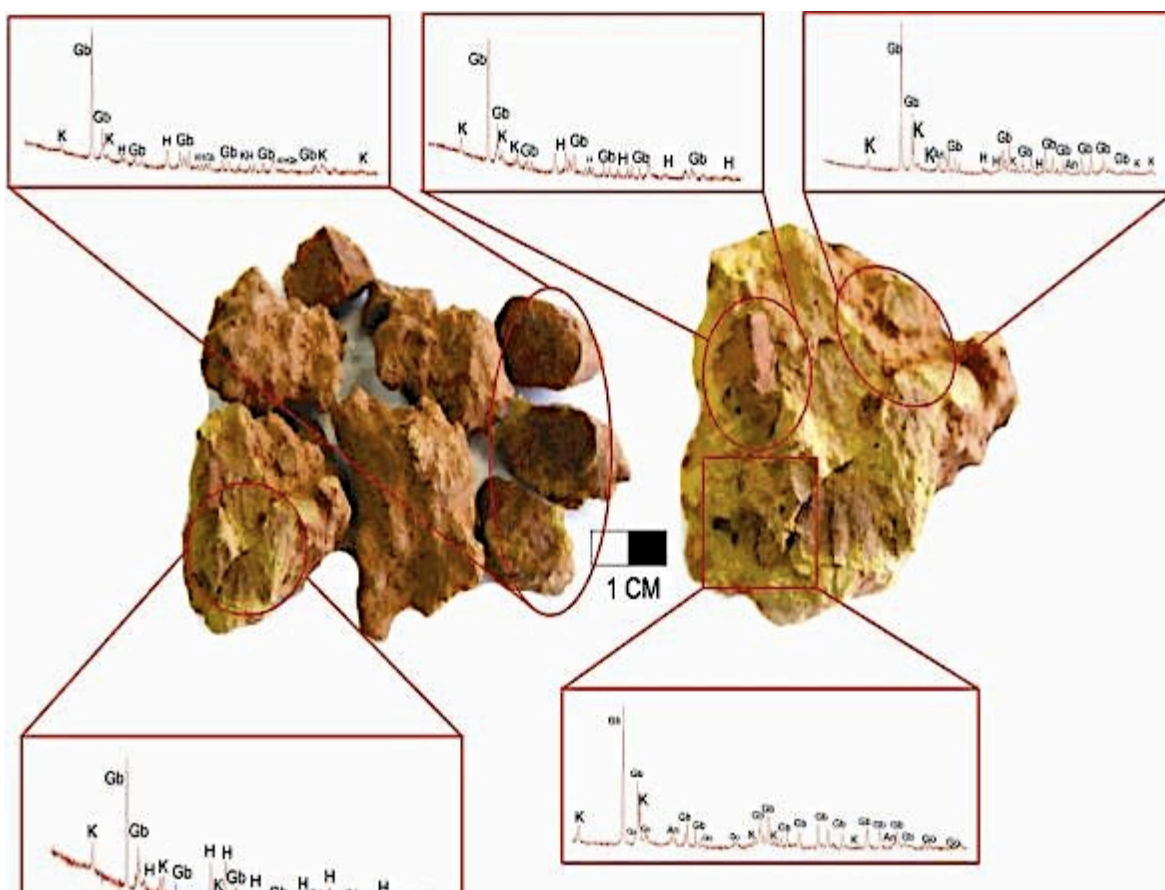
Os pisólitos encontram-se densamente empacotados cimentados fracamente por matriz argilo-bauxítica, por vezes apresentando córtex goethítico (Figura 7.30) e aspecto de desferrificação, com relações de contato gradual com o horizonte sotoposto e brusco com o capeamento sobreposto.

Figura 7.30: Fotomicrografias representativas do Horizonte Bauxita Nodular (BN), em A: zoneamento de desferrificação, partindo do centro avermelhado (esquerda), partindo para uma zona intermediária rica em gibbsita e a porção externa marrom-amarelada rica em goethita, em B: zoneamento do centro hematítico, passando por uma zona caulinitico-gibbsítica e na porção periférica uma camada rica em goethita e gibbsita.



Assim como nos demais horizontes, porções heterogêneas refletindo diferenças texturais, foram analisadas por difratometria de raios-X, e os resultados estão apresentados nas figuras 7.29 e 7.31.

Figura 7.31: Amostra representativa do horizonte Bauxita Nodular (BN), com difratogramas representando as porções analisadas por Difração de Raios-X.



Na figura 7.31, observam-se os difratogramas correspondentes às análises de DRX realizadas nos pisólitos, que são compostos essencialmente por gibbsita e hematita, com caulinita e goethita subordinados, e às análises realizadas no material amarelado e róseo que compõe a matriz, revelando grande quantidade de caulinita e gibbsita e subordinadamente hematita e goethita.

Embora consista principalmente em pisólitos ferruginosos, este horizonte mostra grau de bauxitização considerável, que se apresenta através de sua forma concrecionária, de textura fina, e aspecto porcelanado que além de cimentar ainda substitui os pisólitos, esse processo ocorre pela desferrificação dos pisólitos e preenchimento dos vazios por gibbsita micro a mesocristalina, no estágio seguinte ocorre a nucleação da porção ferruginosa do pisólito até sua total assimilação pela bauxitização (KOTSCHOUBEY *et al*, 2005b).

Uma tentativa de integrar os dados mineralógicos associando-os aos diferentes horizontes apresentados é mostrada na Figura 7.32.

7.2 DESCRIÇÃO DOS PERFIS- PETROGRAFIA

Para a descrição petrográfica, foi mantida a nomenclatura utilizada na descrição mineralógica, introduzindo termos “emprestados” da petrografia sedimentar para definir estruturas, relações entre minerais e texturas em geral.

Foram utilizadas 30 lâminas delgadas de seção polida sem lamínula para a descrição petrográfica, referentes a sete horizontes dos perfis (para ARV não foram confeccionadas lâminas).

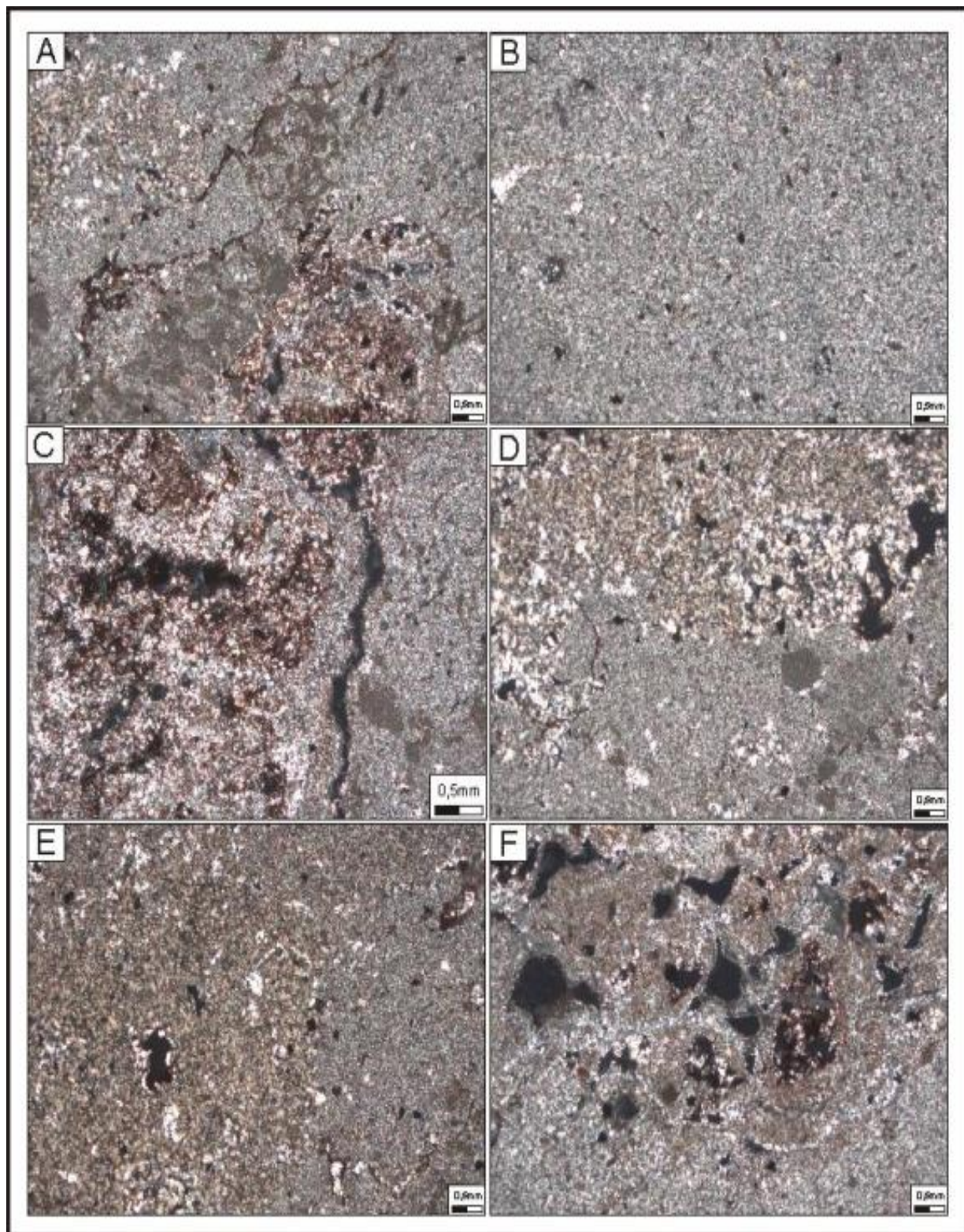
Os perfis foram descritos da base para o topo seguindo a sequência: Bauxita Amorfa (BA), Bauxita Cristalizada/ Bauxita Amorfa (BCBA), Bauxita Cristalizada (BC), Laterita Ferruginosa (LF), Bauxita Nodular Cristalizada (BNC) e Bauxita Nodular (BN).

7.2.1 Horizonte Bauxita Amorfa (BA)

O horizonte BA apresenta em média 30 cm de espessura, coloração acinzentada, esbranquiçada com porções rosadas e vermelhas (variegada), finamente laminado, rico em caulinita.

Rocha é cinza de textura colomorfa, maciça, com pisólitos em feições esqueletais e poros com cristais de quartzo reliquiares (Figura 7.33).

Figura 7.33: Aspectos texturais e estruturais do horizonte Bauxita Amorfa (BA)-Am10; A: Cristaliplasma gibbsítico-caulinítico com porção ferruginosa disseminada; B: Detalhe da “matriz” gibbsítico-caulinítica fina, aspecto coeso e uniforme; C: Interação das porções avermelhada e acinzentada, além de fraturas e poros secundários semi-preenchidos por gibbsita mesocristalina e caulinita; D: contato entre a porção acinzentada fina (matriz) e a porção mesocristalina resultado de recristalização de gibbsita; E: Interação da matriz cinza fina(direita) e porção caulinítica (esquerda); F: Porção acinzentada fina, porosa com plasma ferruginoso concentrado nos vazios.



É composta principalmente por um cristaliplasma gibbsítico-caulinítico fino pobre em ferro, com porções pisolíticas reliquiares e feições de desferrificação com formação de poros e canais secundários, por vezes preenchidos por gibbsita mesocristalina e plasma ferruginoso disseminado (Figura 7.33).

Observam-se porções ferruginosas com feições esqueletais ricas em hematita, bastante porosas com recristalização e substituição por gibbsita microcristalina.

Observa-se ainda duas porções bem distintas, uma mais fina acinzentada rica em caulinita e gibbsita com poucos pontos de dispersão de oxi-hidróxidos de ferro, e outra porção mais grossa de coloração amarronzada a amarelada rica em caulinita com agregados de gibbsita, podendo ser resultado da evolução das reações de hidrólise do intemperismo sobre a caulinita. Essa diferença granulométrica pode ser observada em amostra de mão, definindo acamamento da rocha.

Os poros não se conectam deixando o horizonte bem compacto e pouco permeável são em sua maioria o resultado da dissolução de grãos de quartzo e outros minerais, assumindo sua forma original, geralmente encontra-se películas ou filmes submilimétricos de oxi-hidróxidos de ferro dispersos e principalmente no entorno dos poros e fissuras.

7.2.2 Horizonte Bauxita Cristalizada/ Bauxita Amorfa (BCBA)

A rocha apresenta textura granular, com orientação paralela do acamamento (Figura 7.34 A-B), semelhante à rocha-mãe, alternando camadas descontínuas ricas em oxi-hidróxidos de ferro (marrom/vermelha) e camadas granulares mais grossas ricas em gibbsita mesocristalina com caulinita associada de até 2,5mm, cimentadas pelo material ferruginoso (fig,7.34 C-D).

As porções ricas em oxi-hidróxidos de ferro são inferiores a 1mm de espessura, com poros arredondados e com concentrações nas porções mais externas dos poros (parede), observam-se ainda pisólitos e fragmentos de crosta pisolítica cimentada além de fraturas e poros preenchidos por gibbsita mesocristalina(Figura 7.34E).

As camadas granulares são mais espessas e contínuas, com baixa porosidade (~5%), formadas por gibbsita e caulinita, além de hematita e quartzoreliquiar. O acamamento é milimétrico, contínuo formado por grãos anédricos a subédricos, levemente arredondados, com minerais opacos, além de epídoto, turmalina e zircão (Figura 7.34F).

Figura 7.34: Aspectos texturais e estruturais da fácies Bauxita Cristalizada/Bauxita Amorfa (BCBA); A: acamamento ocasionado por camadas claras de caulinita, gibbsita e quartzo alternadas com camadas ricas em minerais de ferro (nicóis cruzados); B: mesma imagem de A em nicóis paralelos; C: detalhe de B; D: Detalhe de C; E: fragmento laterítico degradado e incorporado a matriz bauxítica; F: relação entre a matriz argilo-gibbsítica e material ferruginoso (opaco), nota-se cristal subédrico de zircão no centro a direita (amarelo).

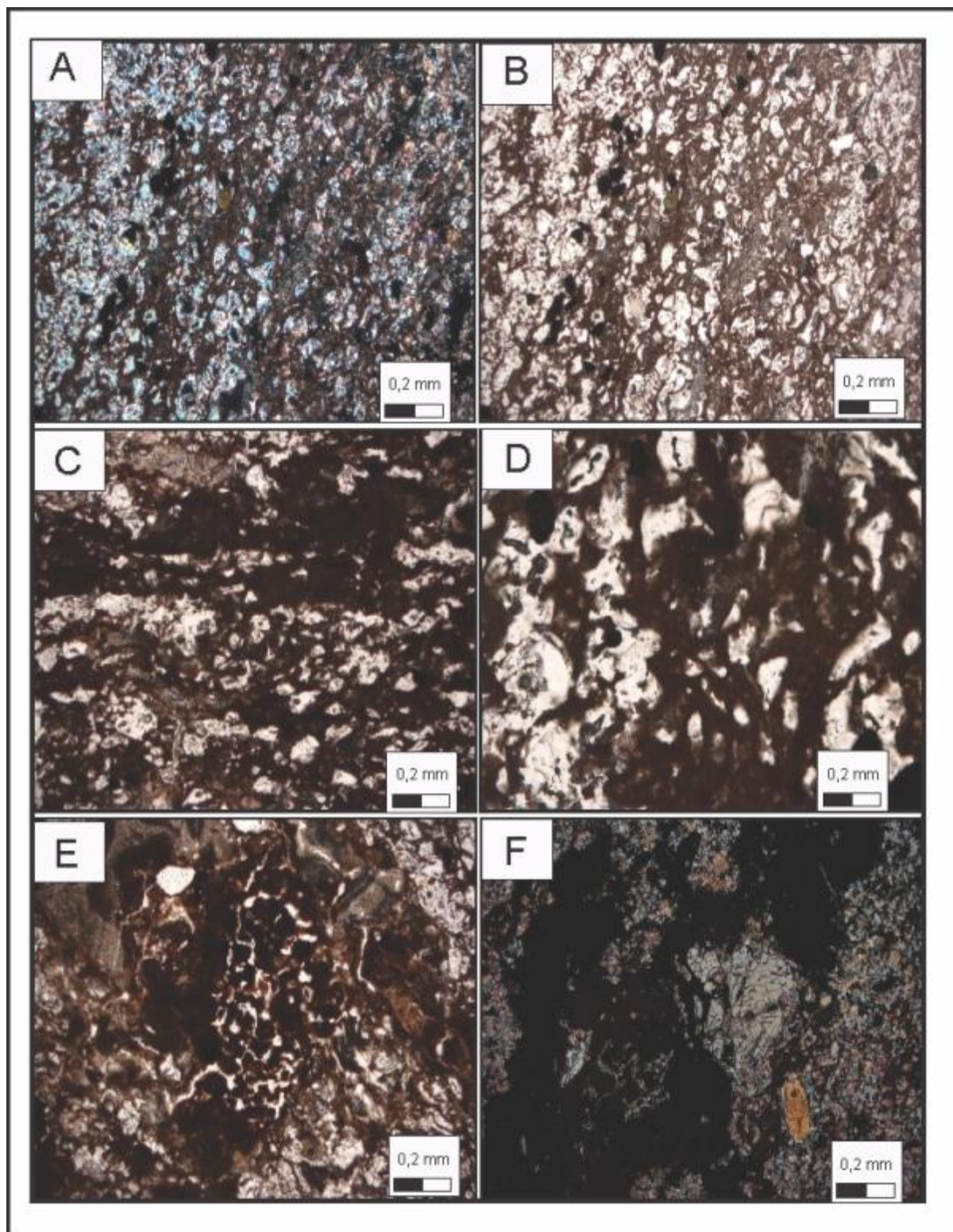


Figura 7.35: Aspectos texturais e estruturais da fácies Bauxita cristalizada/ Bauxita amorfa (BCBA) TR19-Am08; A: interação das porções amareladas e vermelha, associadas a poros e gibbsita mesocristalina; B: matriz gibbsítica associada a poro alongado com impregnação de Fe; C: porção amarelada rica em ferro e porção acinzentada pobre em ferro; D: interação entre as porções amareladas e avermelhadas.

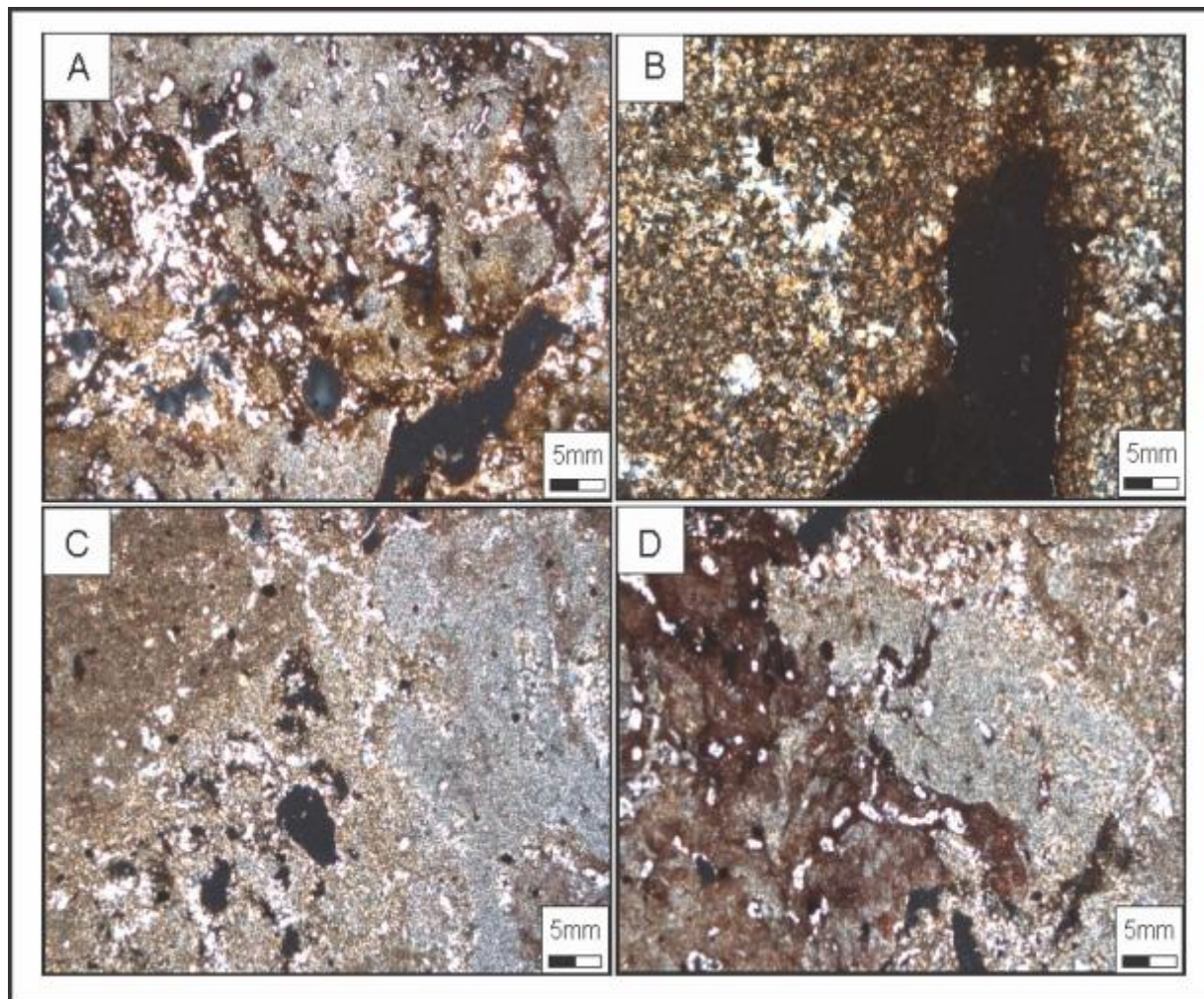
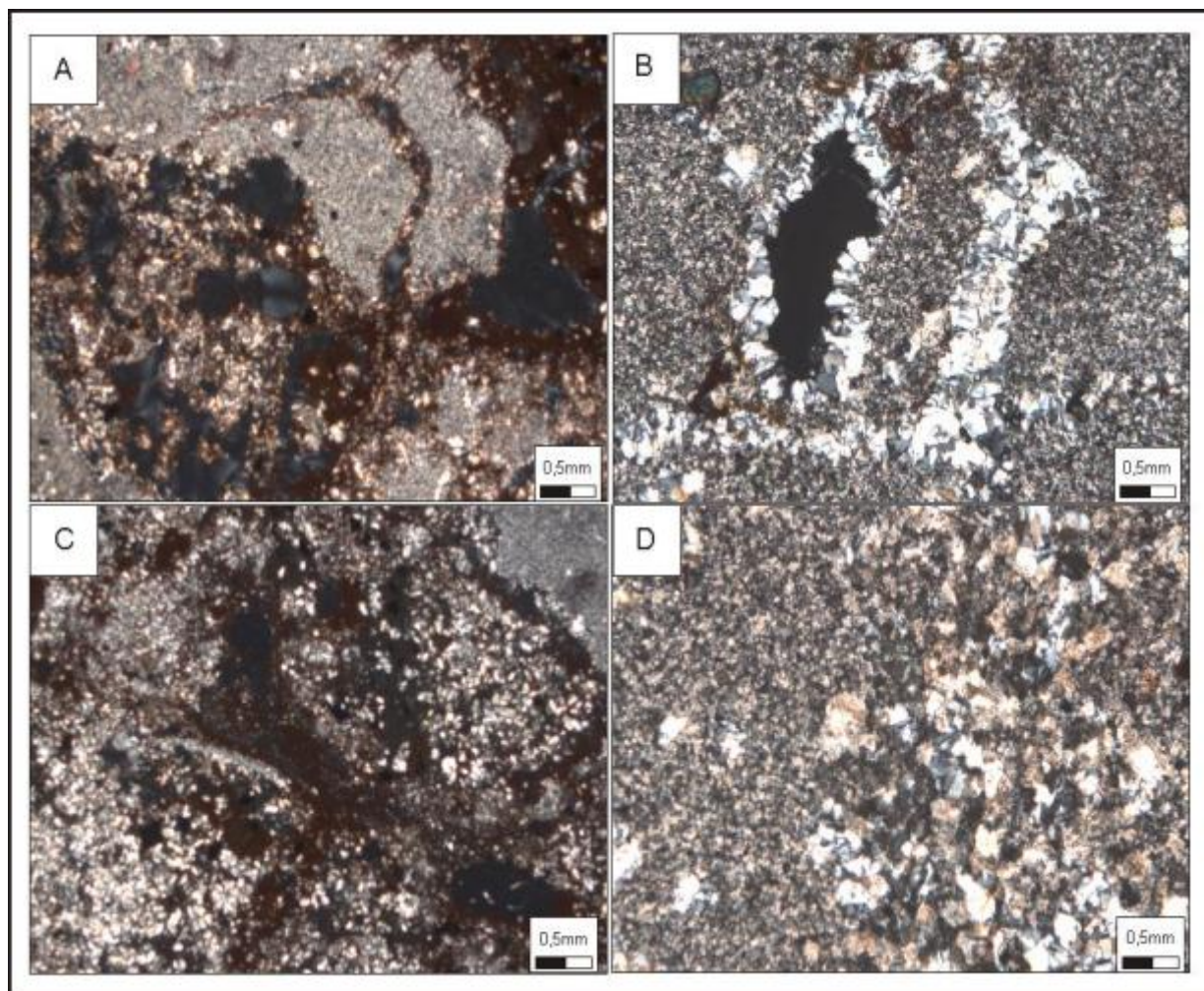
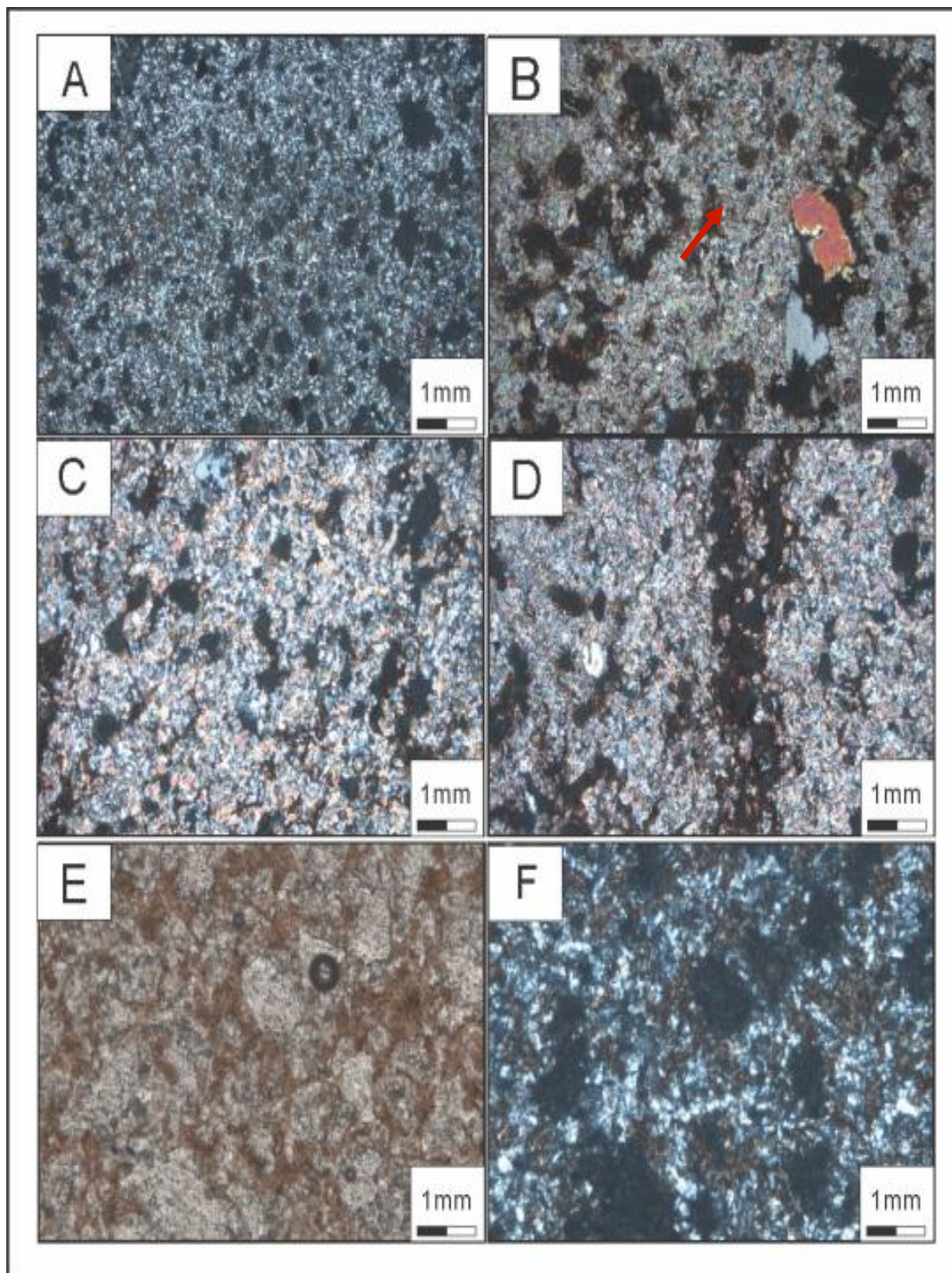


Figura 7.36: Aspectos texturais e estruturais da fácies Bauxita Cristalizada/Bauxita Amorfa (BCBA) FD2601-AM09; A: Associação da matriz gibbsítica fina (cinza) com plasma ferruginoso (vermelho) em porção porosa da rocha; B: Matriz gibbsítica fina (cinza) associada a poro com gibbsita mesocristalina, subédrica recristalizada sob a forma de leque na parede do poro, além poro totalmente preenchido por gibbsita mesocristalina (seta) e cristal de turmalina (no alto a esquerda); C: Porção fraturada e porosa com gibbsita e caulinita associadas a plasma ferruginoso; D: detalhe do contato (relação) entre o cristaliplasma gibbsítico fino (matriz) e porção gibbsítica mesocristalina recristalizada.



Observam-se duas porções distintas, a primeira de cor róseo formada essencialmente por gibbsita de boa cristalinidade, e subordinadamente caulinita de boa cristalinidade, e a outra de coloração esbranquiçada/amarelada formada principalmente por caulinita e subordinadamente por gibbsita de boa cristalinidade (Figura 7.6 e 7.7).

Figura 7.37: Aspectos texturais e estruturais da fácies Bauxita cristalizada/ Bauxita amorfa (BCBA)- FD2460-Am08; A: textura porosa /cavernosa da rocha; B: textura cavernosa com fragmento preservado de biotita; C: imagem de A em nicóis cruzados; D: poros com película ferruginosa no entorno; E: detalhe da textura arenítica com preservação de grãos de quartzo; F: detalhe da textura em nicóis cruzados.



7.2.3 Horizonte Bauxita Cristalizada (BC)

O Horizonte Bauxita Cristalizada foi dividido em duas porções distintas, uma colunar/maciça na porção basal e uma porção nodular/pisolítica em direção ao topo.

A porção basal apresenta geralmente textura colomorfa uniforme com porções porosas e cavernosas e pisólitos associados. Geralmente observam-se três porções distintas, uma porção amarelo-esbranquiçada, uma róseo/roxo e uma avermelhada, além de pisólitos ferruginosos associados de até 3 cm, compostos de matriz hematítico-goethítica e micropisólitos Fe-gibbsíticos (Figura 7.38- 7.47)

A porção róseo/roxo é rica em gibbsita com cerca de 60% em proporção na rocha, se apresenta em tons acinzentados, é pobre em oxi-hidróxidos de Fe, apresenta poros irregulares, arredondados e alongados de até 1mm, além de fraturas bordejadas por material ferruginoso essencialmente hematítico. A textura é fina com gibbsita microcristalina e caulinita (marrom-acinzentada) (figura 7.38-A) além de material ferruginoso associado principalmente aos vazios e cristais subédricos mesocristalinos de gibbsita recristalizada preenchendo grande parte dos poros (Figura 7.38-C).

A porção amarelada é rica em caulinita e localiza-se principalmente nas proximidades dos poros (Figura 7.38-B), onde há maior fluxo e percolação de fluidos, nota-se uma relação genética com a gibbsita mesocristalina de segunda geração (recristalização).

Percebe-se uma interação entre as duas porções, onde os limites não são bem definidos e lineares, havendo uma mistura gradual das porções.

A porção avermelhada é caracterizada por um faturamento mais evidente, com poros, vênulos, túbulos, com formas e tamanhos variados, com feições arredondadas, angulosas, ramificadas, alongadas que podem variar de 0,1 a 1,5 mm. As cores variam de marrom a vermelho vivo, nota-se que para se produzir tais cores é necessária percolação descontínua de fluidos ricos em ferro, haja vista que as cores ficam mais fortes nas proximidades de zonas de intensa percolação como poros e fissuras.

Figura 7.38: Aspectos texturais e estruturais da fácies Bauxita Cristalizada (BC) TR19-AM07; A: cristaliplasma gibbsítico-caulinítico com poros preenchidos por gibbsita mesocristalina recristalizada; B: poros alongados em associação com gibbsita mesocristalina e oxi-hidróxidos de ferro; C: cristaliplasma gibbsítico-caulinítico e poro com gibbsita mesocristalina euédrica recristalizada a partir da periferia em direção ao centro do poro; D: plasma gibbsítico-caulinítico com oxi-hidróxidos de ferro associados. (todas as fotos com nicóis cruzados).

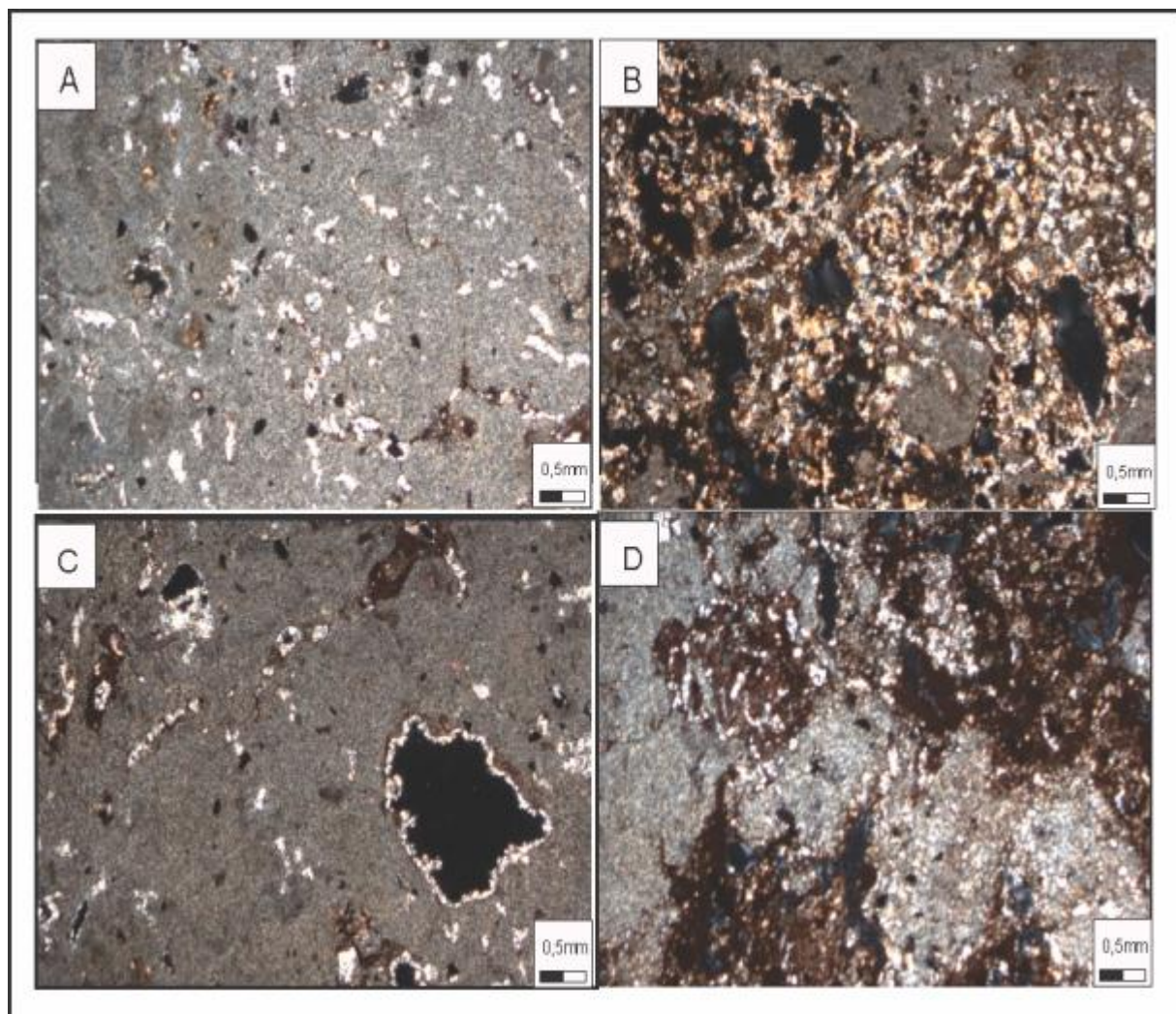


Figura 7.39: Aspectos texturais e estruturais do horizonte Bauxita Cristalizada (BC); A: porção avermelhada rica em hematita com gibbsita mesocristalin asubédrica preenchendo poros; B: aspecto textural granular do horizonte BC; C: poro arredondado e alongado em contato com matriz gibbsítica rica em minerais de ferro; D: imagem C em nicóis paralelos; E: porção gibbsítica fraturada com feições arredondadas e preenchimento de vazios por gibbsita mesocristalina; F: imagem de E em nicóis paralelos.

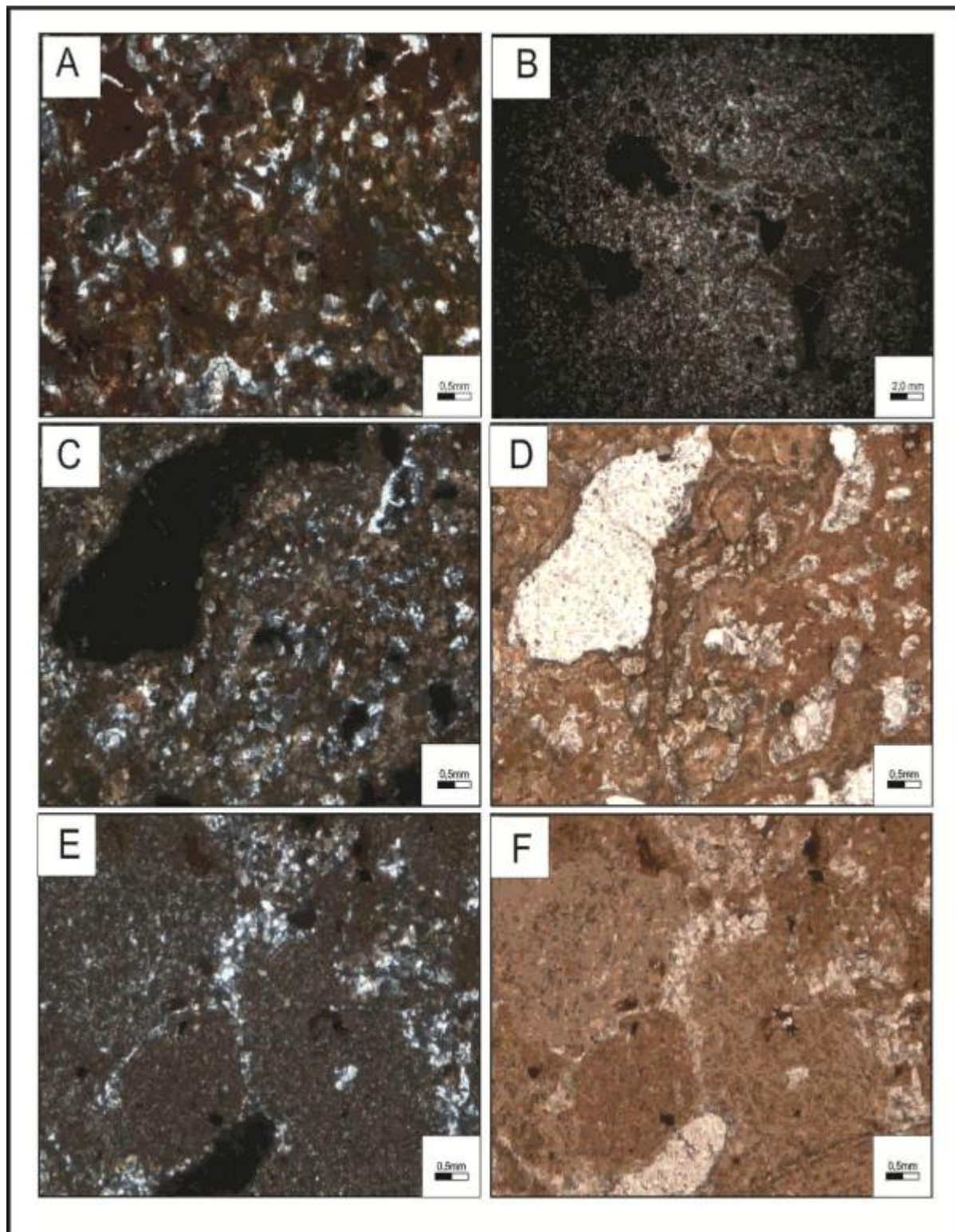
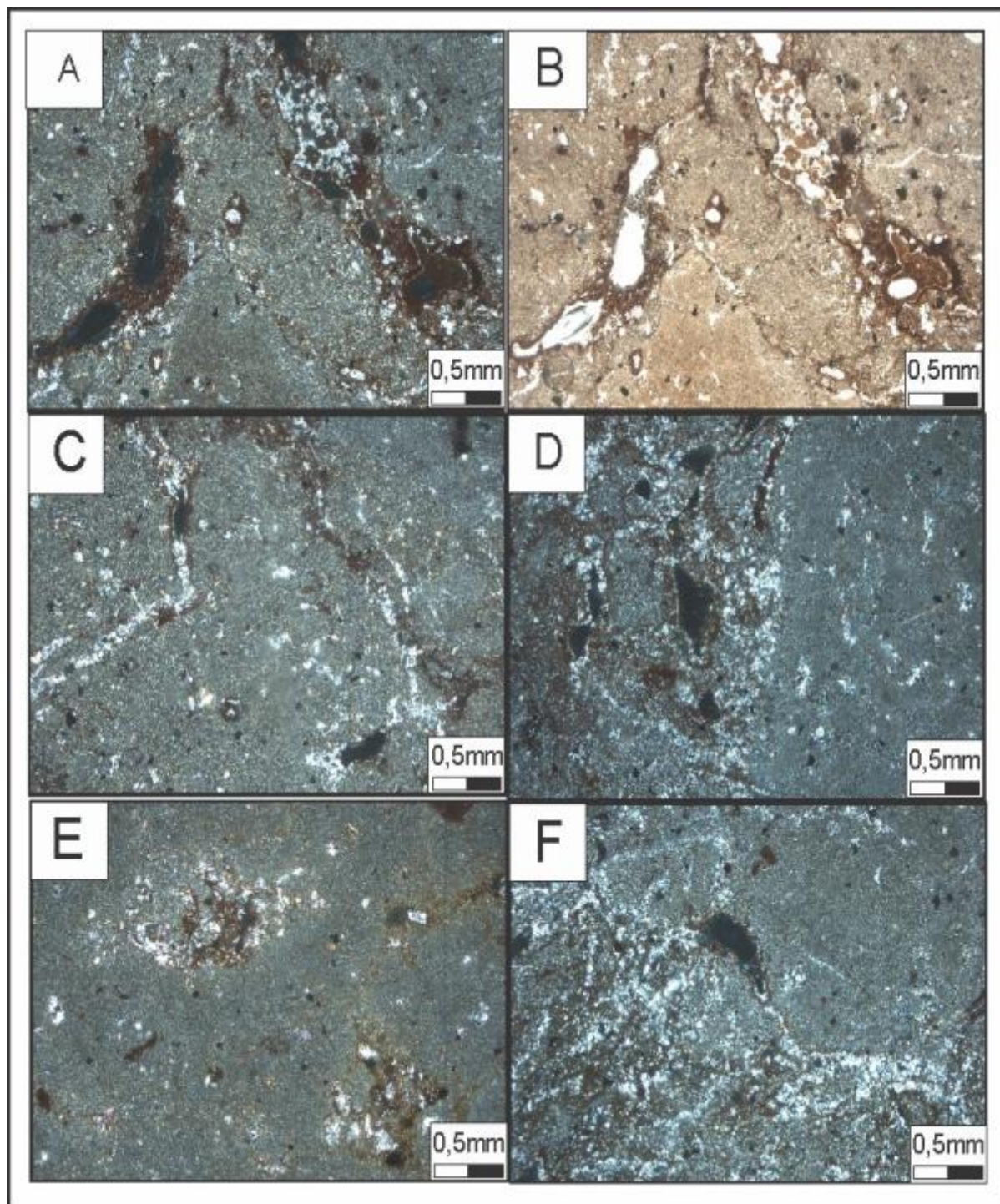


Figura 7.40: Aspectos texturais e estruturais do horizonte Bauxita Cristalizada (BC); A: matriz gibbsíto-caulinítica com poro alongado parcialmente preenchido por gibbsitamesocristalinaenvolvido em cristaliplasma ferruginoso (vermelho); B: imagem de A em nicóis paralelos; C: matriz gibbsítica fina com fraturas preenchidas por gibbsita subédric amesocristalina; D: contato entre a porção fina da matriz gibbsítica com uma porção mais grossa formada por gibbsita mesocristalina associada a poros e material ferruginoso; E: matriz gibbsítica fina associada a porção mesocristalina e material ferruginoso (vermelho/amarelo); F: matriz gibbsítica fina e porção mesocristalina de plasma ferruginoso associada a gibbsita subédrica.



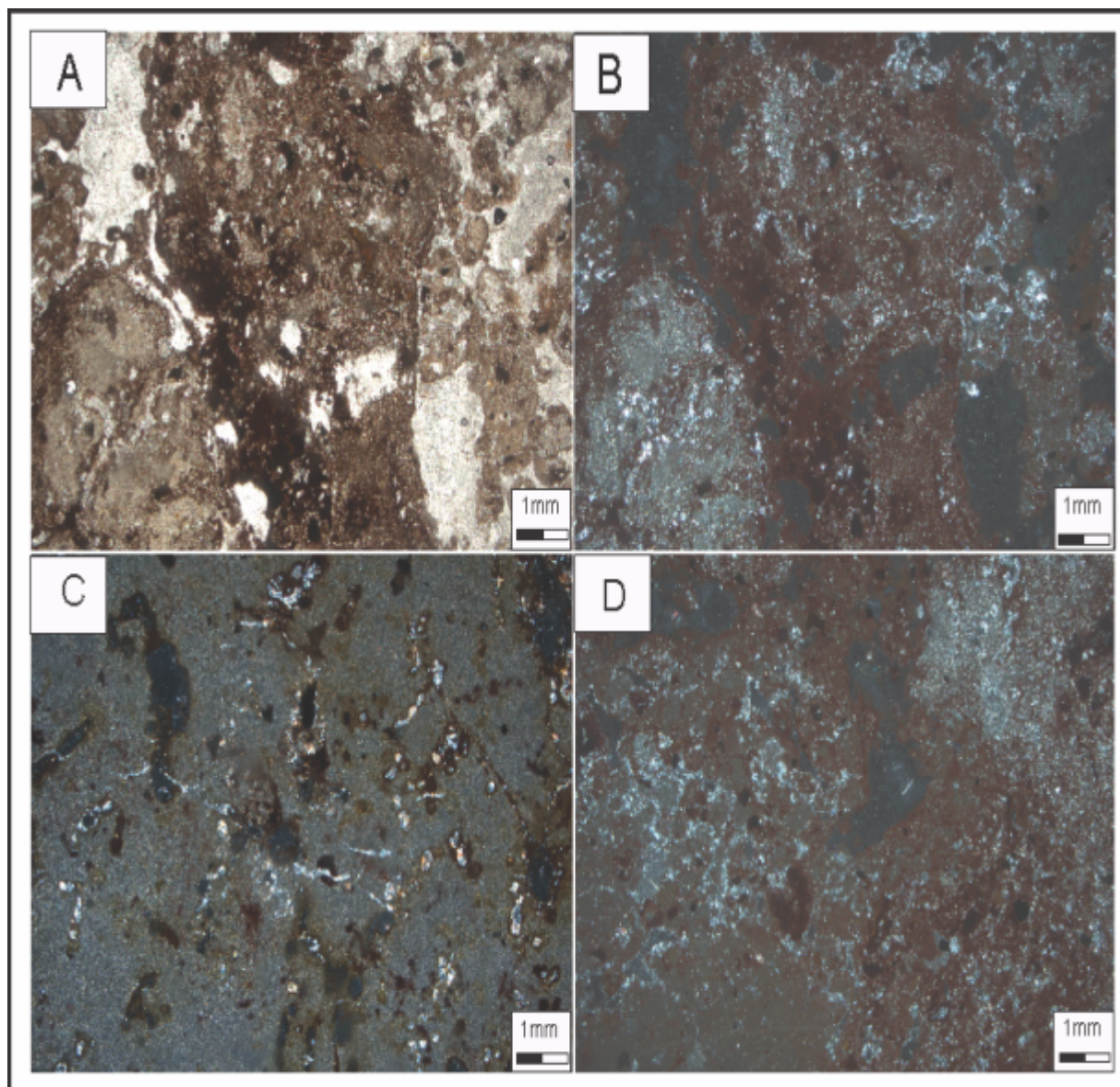


Figura 7.41: Aspectos texturais e estruturais do h orizonte Bauxita Cristalizada-(BC); A: porção difusa da matriz gibbsítica (cinza) com pisólito ferruginoso degradado em aspecto esquelético, nota-se relações de interação entre as duas porções; B: imagem de A em nicóis cruzados; C: matriz gibbsítica fina porosa associada a minerais ferruginosos em cristaliplasma fino (vermelho/amarelo); D: textura geral de porção gibbsítica rica em ferro.

A porção superior é pisolítica, caracterizada pela relação difusa e irregular entre pisólitos ferruginosos, fragmentos bauxíticos e matriz gibbsítica fina.

Obviamente nota-se a grande quantidade de pisólitos, esses com formas arredondadas, alongadas, com bordas irregulares, porosos e etc. Na porção superior nota-se ainda um incremento na concentração de oxi-hidróxidos de ferro (hematita principalmente, e goethita subordinada), muito disso pela proximidade com o horizonte de laterita ferruginosa.

Figura 7.42: Aspectos texturais e estruturais do Horizonte Bauxita Cristalizada-(BC): A: matriz gibbsítico-caulinítica com impregnação de oxi-hidróxidos de ferro e pisólito ferruginoso degradado com textura irregular; B: pisólito ferruginoso muito poroso, com gibbsita mesocristalina preenchendo poros, nota-se a influência do material ferruginoso oriundo da degradação do pisólito impregnando a matriz gibbsítica fina adjacente; C: interação da matriz gibbsítica pobre em ferro com a porção gibbsítica rica em ferro; D: interação da porção amarelada com a porção acinzentada rica em gibbsita associadas a poros e pisólitos ferruginosos; E: pisólito ferruginoso com poros substituídos e preenchidos por gibbsita mesocristalina associado a matriz gibbsítica com interface Fe-gibbsítica entre as duas porções; F: pisólitos ferruginosos bastante degradados com poros resultantes da dissolução dos grãos de quartzo em contato com matriz gibbsítico-ferruginosa.

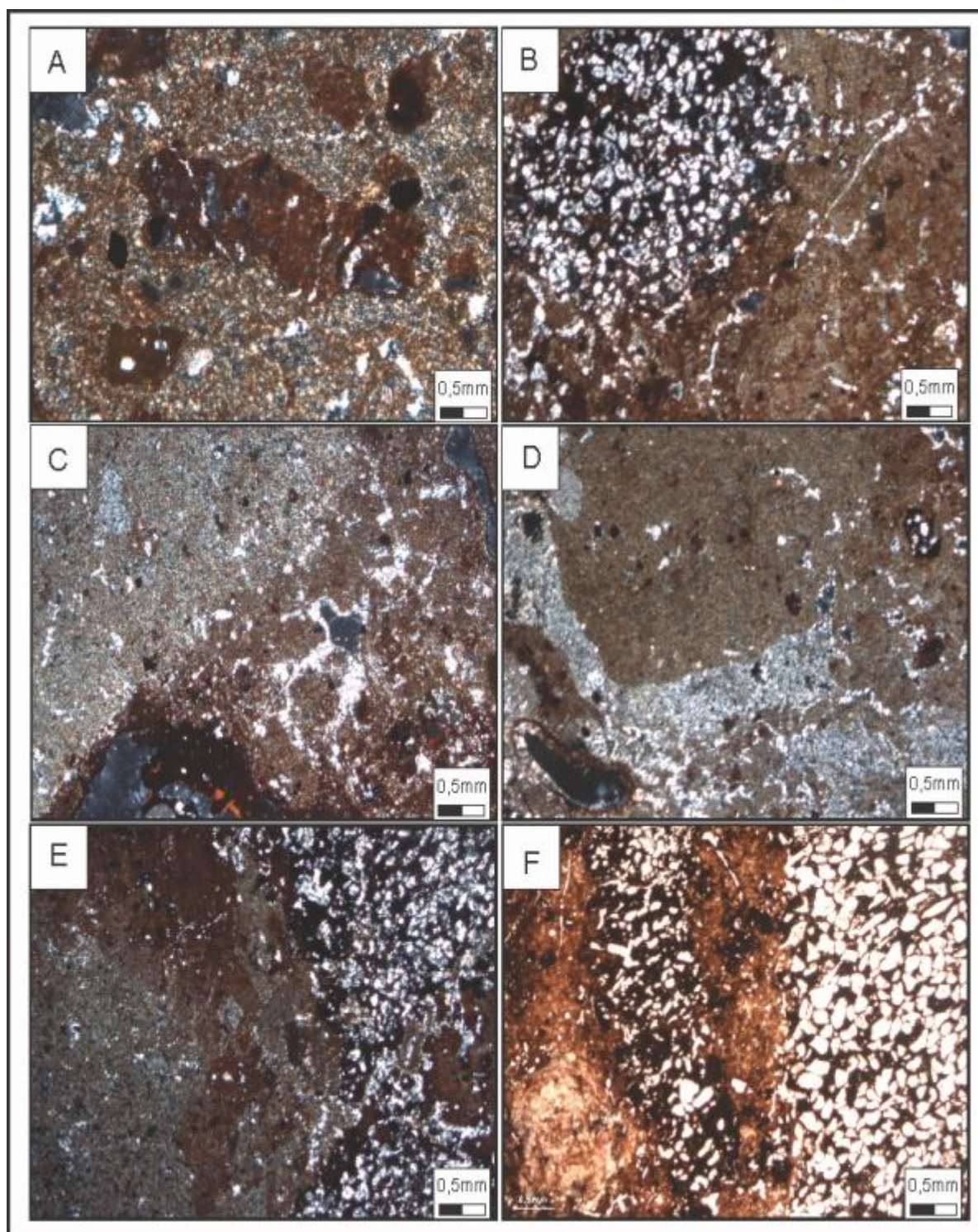


Figura 7.43: Aspectos texturais e estruturais do Horizonte Bauxita Cristalizada-(BC); A: porção porosa/cavernosa rica em oxi-hidróxidos de ferro com gibbsita mesocristalina preenchendo alguns vazios; B: imagem de A em nicóis paralelos; C: feições esqueletais de pisólitos degradados; D: matriz formada por cristaliplasma ferruginoso com porções gibbsíticas associadas (amarelada), nota-se grande quantidade de poros e fraturas.

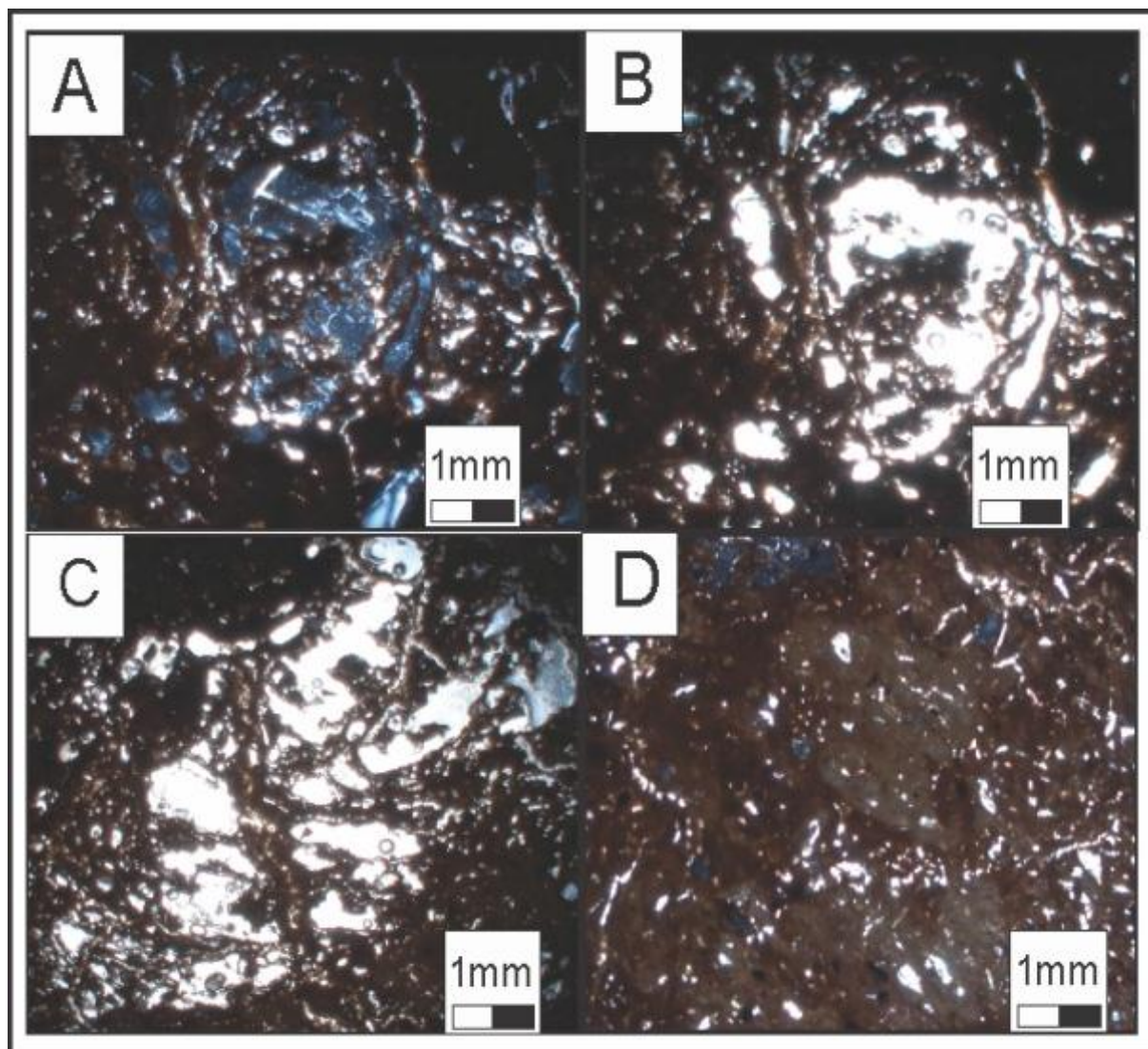


Figura 7.44: Aspectos texturais e estruturais do Horizonte Bauxita Cristalizada-(BC): A: matriz gibbsítica rica em ferro com poros e fissuras associadas (nicóis //); B: porção pisolítica rica em ferro bastante fraturada; C: pisólito ferruginoso alongado disperso em matriz gibbsítica rica em ferro; D: textura pisolítica associada a porção gibbsítica rica em ferro; E: contato entre a porção laterítica (cima, vermelho escuro) com porção bauxítica; F: imagem de E em nicóis paralelos; G: porção pisolítica porosa/cavernosa próxima ao horizonte laterítico ferruginoso sobreposto; H: porção pisolítica associada a matriz gibbsítica marrom com gibbsita mesocristalina preenchendo os vazios.

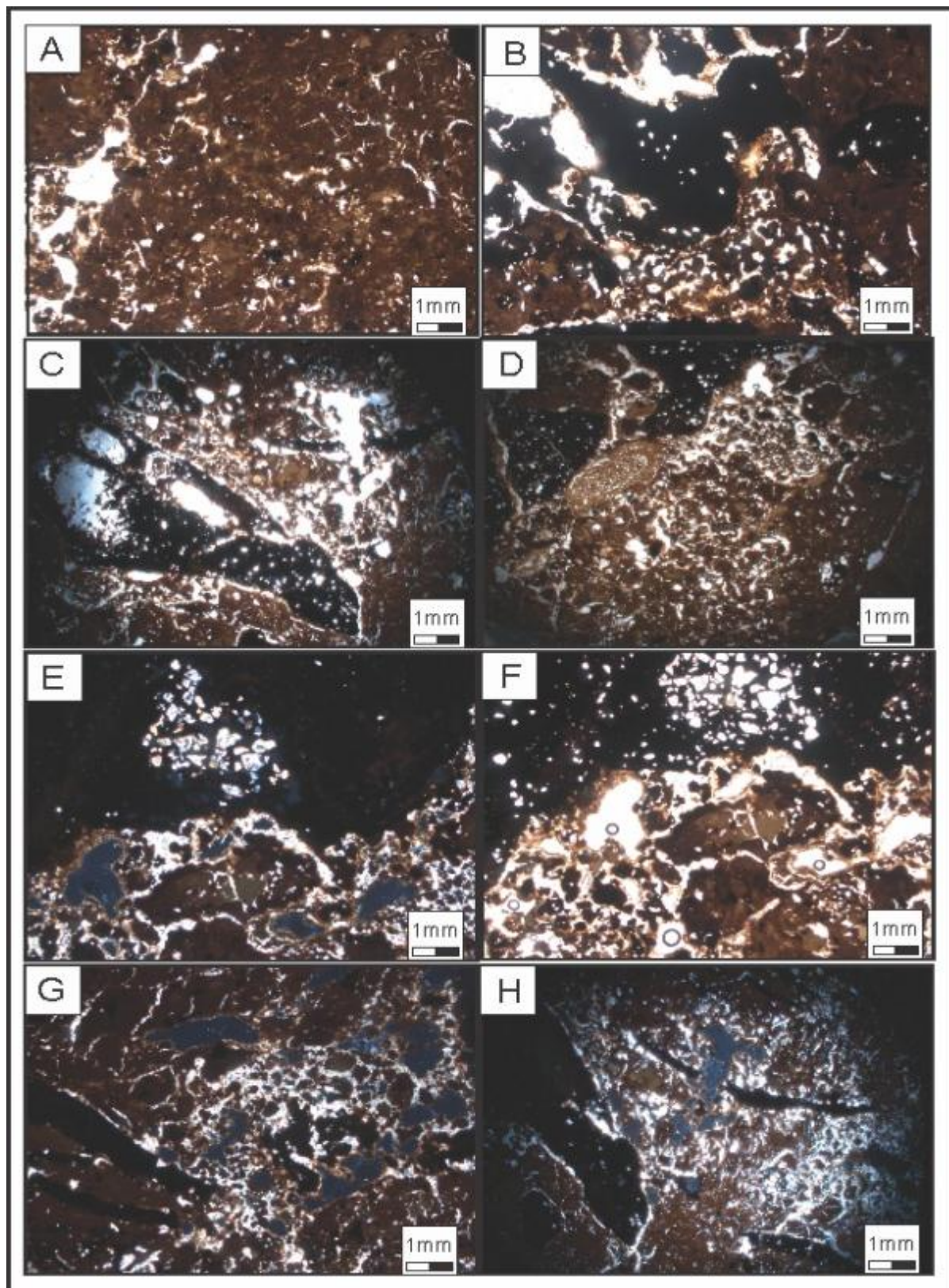


Figura 7.45: Aspectos texturais e estruturais do Horizonte Bauxita Cristalizada -(BC)A: matriz gibbsítica associada a pisólitos ferruginosos e poros parcialmente preenchidos por gibbsita mesocristalina; B: fragmento ferruginoso poroso/cavernoso com poros preenchidos por gibbsita mesocristalina; C: fragmento ferruginoso com poros e pseudopisólitos bauxíticos associados; D: imagem de C em nicóis paralelos; E: detalhe da parede poro parcialmente preenchido por gibbsita mesocristalina subédrica; F: porção porosa da matriz rica em ferro; G: porção pisolítica degradada com poros alongados e arredondados; H: detalhe do cristaliplasma ferruginoso associado a pisólitos degradados com poros e fraturas associados.

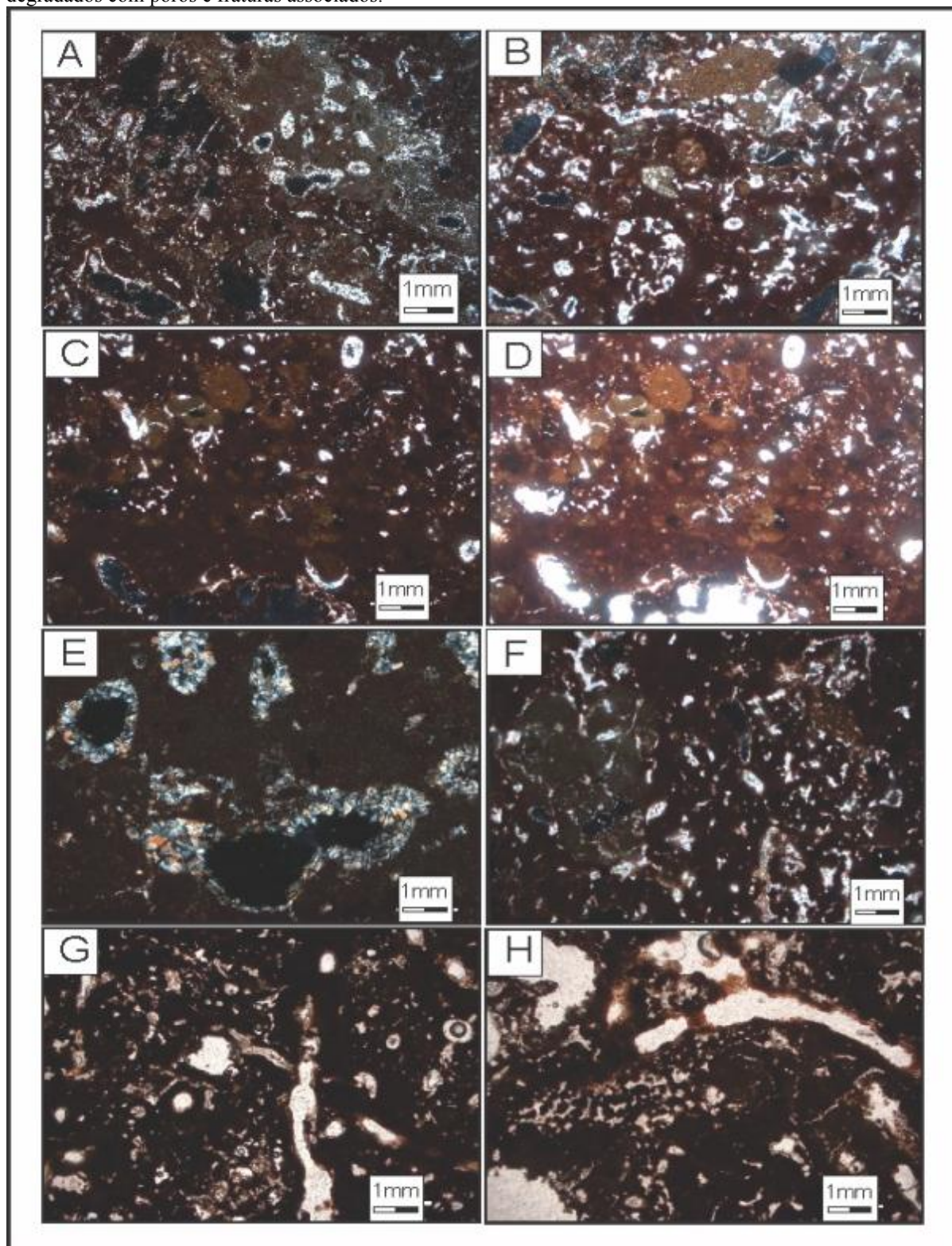


Figura 7.46: Aspectos texturais e estruturais do Horizonte Bauxita Cristalizada-(BC); A: matriz gibbsítica com impregnação de material ferruginoso; B: porção ferruginosa uniforme com gibbsita preenchendo poros; C: interação da porção ferruginosa com a porção bauxítica amarelada, notar poros com gibbsita mesocristalina preenchendo parcialmente a parede dos poros; D: detalhe da imagem C, porção ferruginosa; E: Pisólito degradado disperso em matriz gibbsica rica em ferro; F: imagem de E em nicóis cruzados.

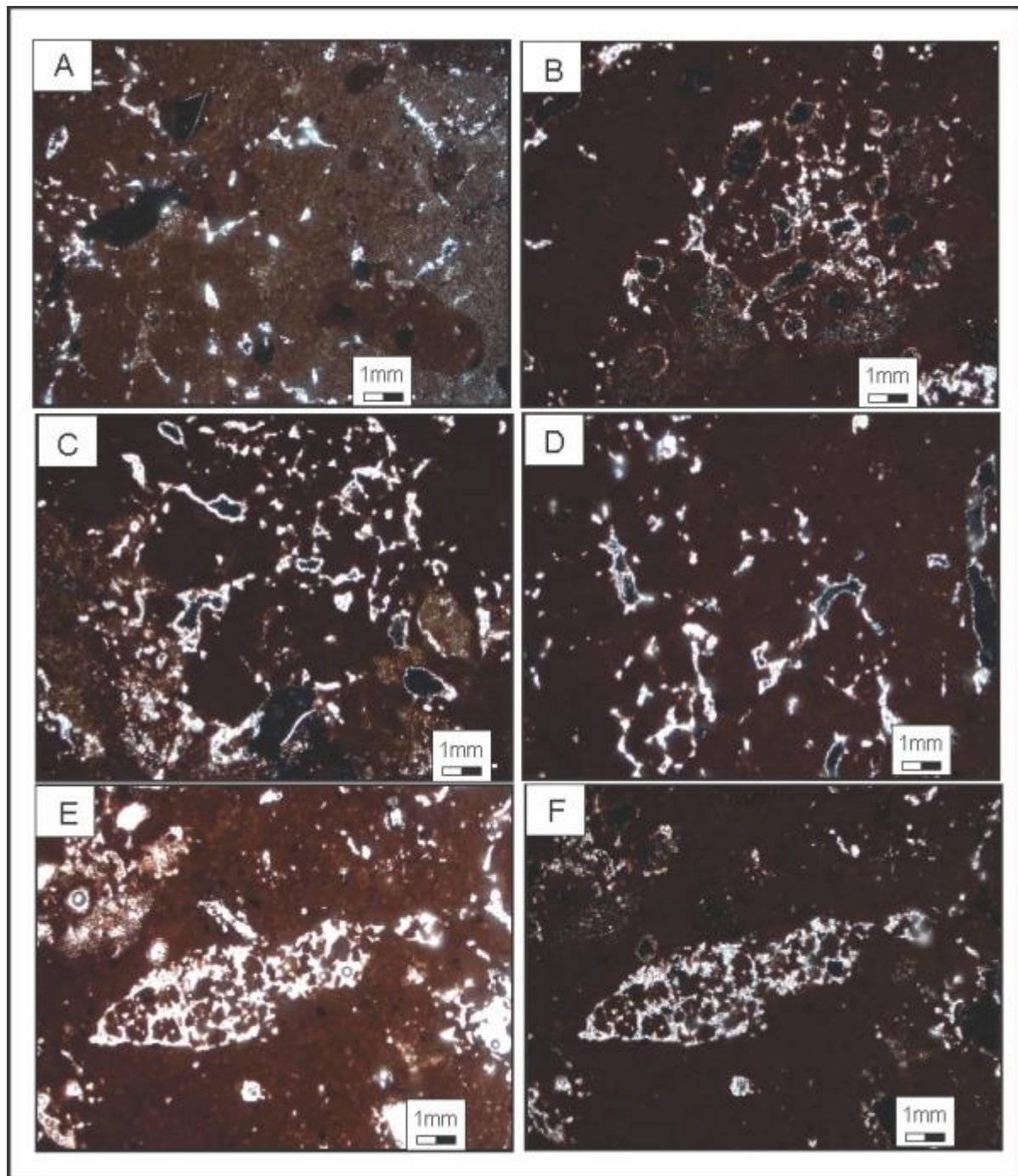
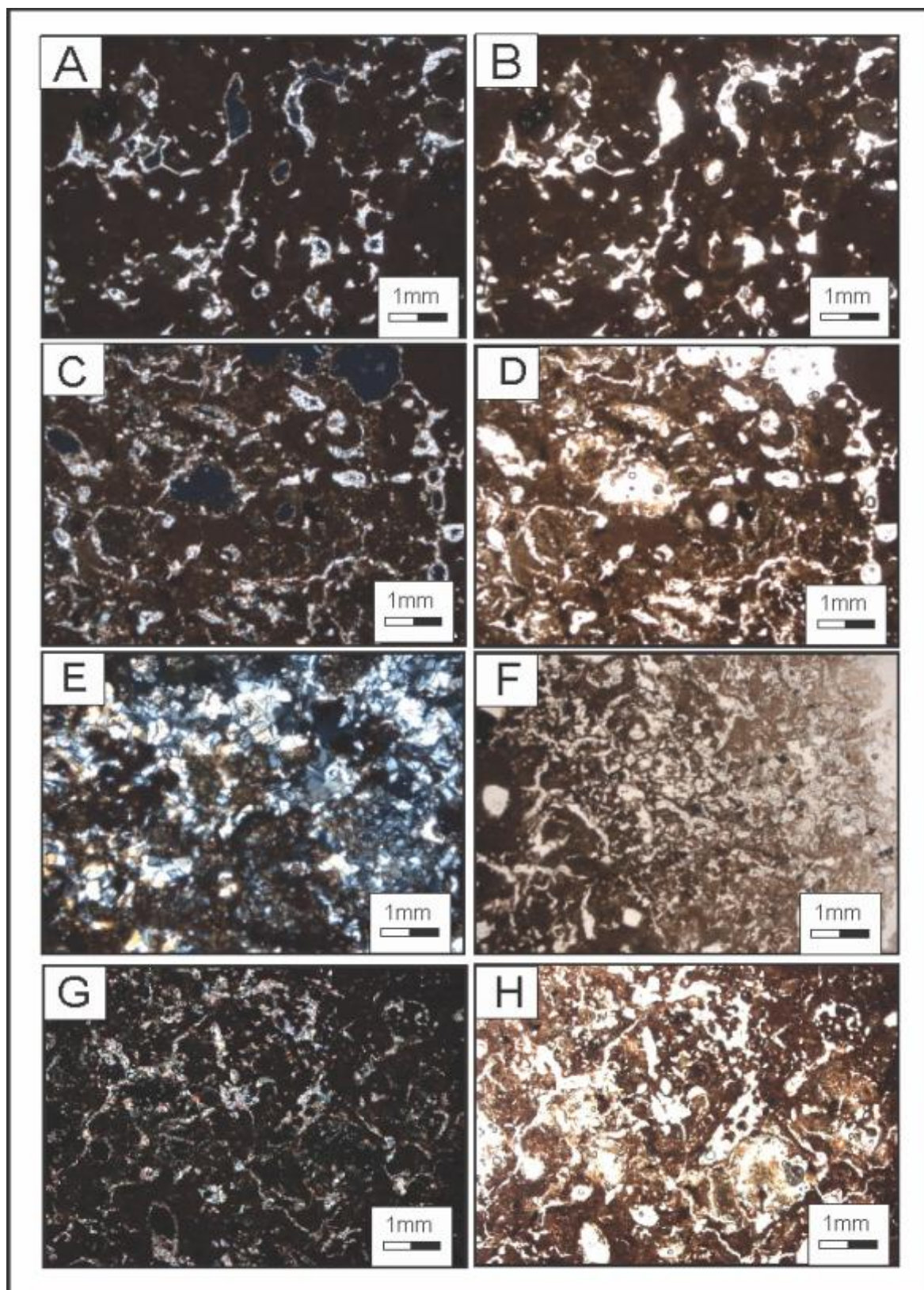


Figura 7.47: Aspectos texturais e estruturais do Horizonte Bauxita Cristalizada-(BC); A-B: cristaliplasma ferruginoso poroso com gibbsita mesocristalina preenchendo poros e fraturas, A: nicóis X, B: nicóis //; C-D: matriz gibbsítica rica em ferro com poros e pisólitos associados, C: nicóis X, D: nicóis //; E-F: porção fraturada com gibbsita subédrica a euédrica preenchendo os vazios em E, nicóis X, e aspecto venular em F, nicóis //; G-H: cristaliplasma gibbsítico com material ferruginoso associado, além de poros e fraturas.



7.2.4 Horizonte Laterita Ferruginosa (LF)

Microscopicamente a rocha apresenta textura pisolítica-conglomerática fina, com cristaliplasma microcristalino vermelho-amarronzado. É essencialmente formado por um cristaliplasma vermelho, além de uma porção marrom-amarelada de aspecto coloidal, pisólitos ferruginosos e vazios, representados por poros oriundos da dissolução principalmente de grãos de quartzo, fissuras, canais e porção gibbsítica mesocristalina que se concentra nos vazios como minerais recristalizados (figuras 7.48- 7.53).

A porção vermelha é formada principalmente por hematita microcristalina, gibbsita, caulinita e goethita, todos com baixa cristalinidade. Este cristaliplasma corresponde a 90% da rocha, é bastante uniforme e representa o material que envolve os cristais e poros (Figura 7.48A-F).

A porção marrom-amarelada é composta por gibbsita microcristalina associada com caulinita e hematita, representa cerca de 7% da rocha, apresenta pisólitos ferruginosos milimétricos arredondados, além de pseudopisólitos gibbsíticos (Figura 7.48-C-D-E), é menos porosa que a porção avermelhada e possui formas irregulares e descontínuas.

Os pisólitos são essencialmente hematíticos, arredondados, com poros e fissuras (Figura 7.49-C).

Os vazios são arredondados, angulosos, alongados, representam a forma original dos cristais já dissolvidos, principalmente de quartzo que coexistem com a gibbsita já recristalizada (Figura 7.49-F), formam agregados (Figura 7.49-A), e por vezes encontram-se preenchidos por gibbsita mesocristalina com oxi-hidróxidos de Fe disseminado (Figura 7.49-B).

Figura 7.48: Aspectos texturais e estruturais do horizonte Laterita Ferruginosa- (LF); A: cristaliplasma ferruginoso com poros e fissuras (vazios); B: textura pisolítica-porosa com gibbsita recristalizada nos poros e cutan ferruginoso na borda de um poro (laranja); C: cristaliplasma ferruginoso com porção amarelada; D: mesma imagem de C em nicóis cruzados; E: poros preenchidos por gibbsita mesocristalina recristalizada; F: detalhe da imagem B, *cutan* ferruginoso na borda de um poro livre e outros poros preenchidos por gibbsita mesocristalina.

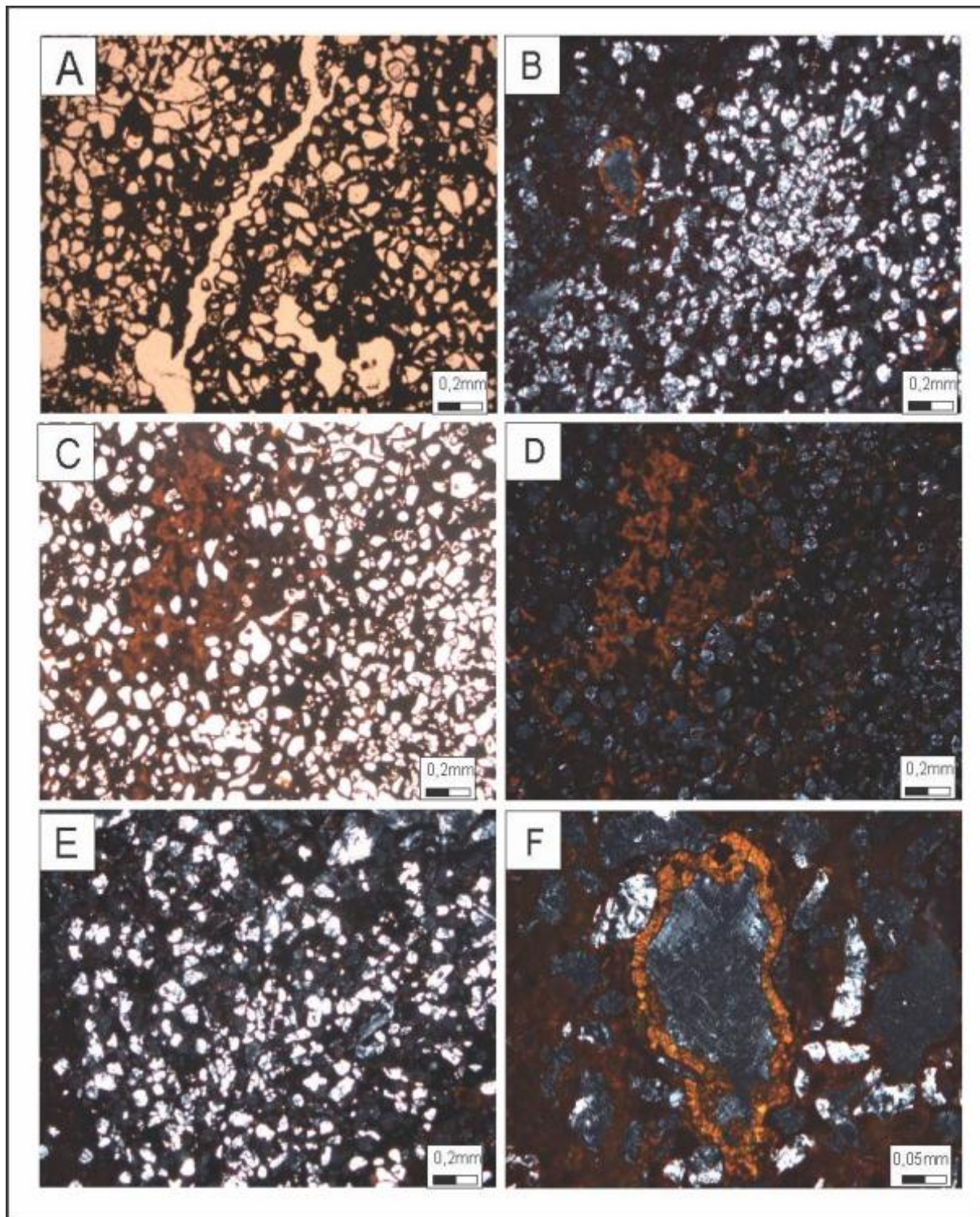


Figura 7.49: Aspectos texturais e estruturais do horizonte Laterita Ferruginosa- (LF); A: cristaliplasma ferruginoso envolvendo os cristais degradados, que agora se tornaram poros, notar a disposição do agregado dos moldes dos cristais; B: gibbsita mesocristalina preenchendo poros de dissolução, notar material ferruginoso associado; C: interação entre o cristaliplasma ferruginoso, um pisólito ferruginoso e a porção amarelada; D: interação entre o cristaliplasma ferruginoso e a porção amarelada coloidal; E: mesma imagem de D com Nicóis cruzados; F: interação entre quartzo reliquiar e gibbsita mesocristalina recristalizada.

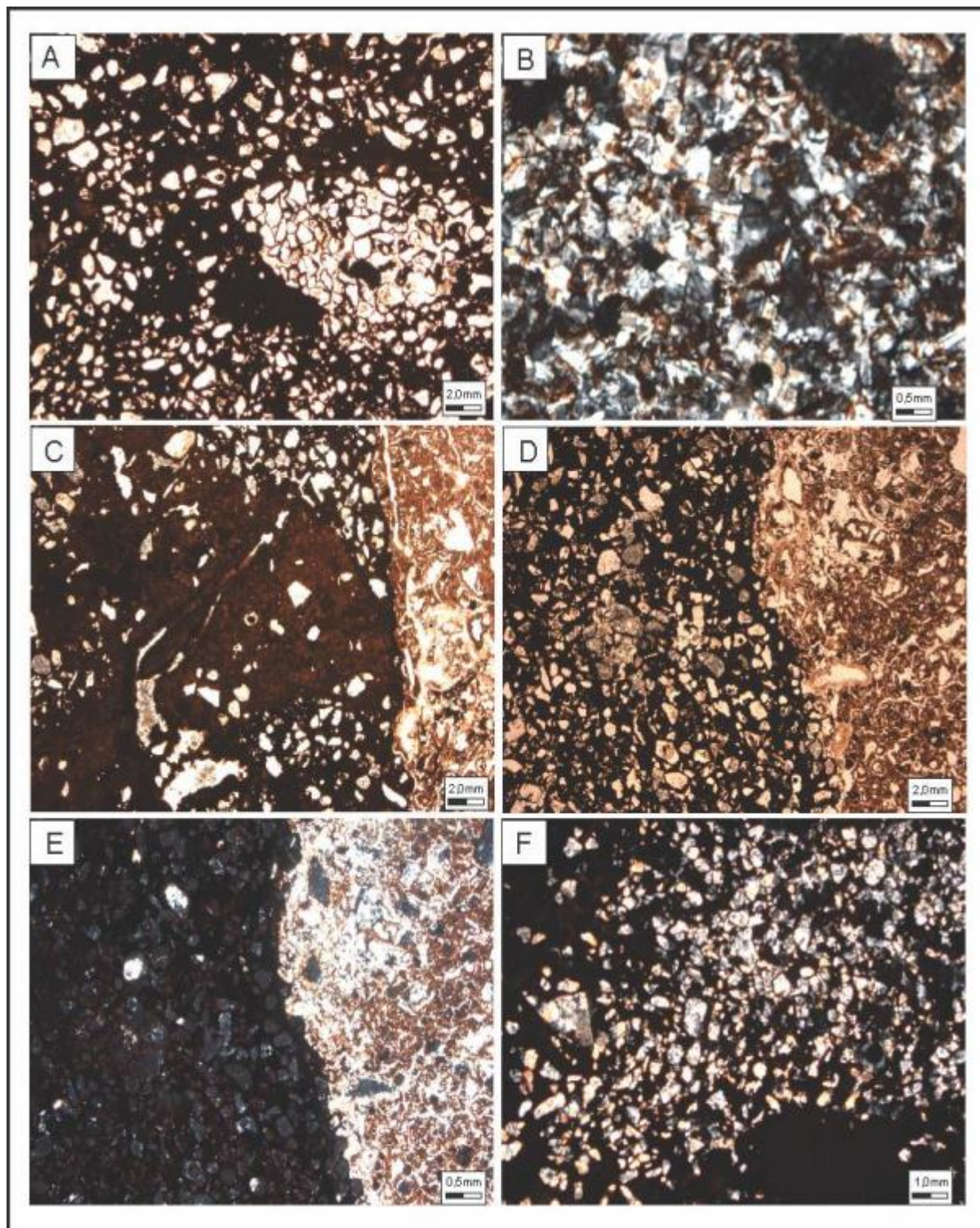


Figura 7.50: Aspectos texturais e estruturais do horizonte Laterita Ferruginosa (LF); A: Pisólito ferruginoso (canto superior esquerdo) em contato com a matriz caulinitico-gibbsítica marrom; B: imagem expandida de A mostrando pisólitos e matriz; C: Textura porosa/cavernosa dos pisólitos ferruginosos com matriz impregnada de ferro; D: pisólito degradado gerando porosidade secundária; E: aspecto difuso esquelético de fragmento laterítico; F: textura difusa de fragmento laterítico com quartzo reliquiar (seta vermelha).

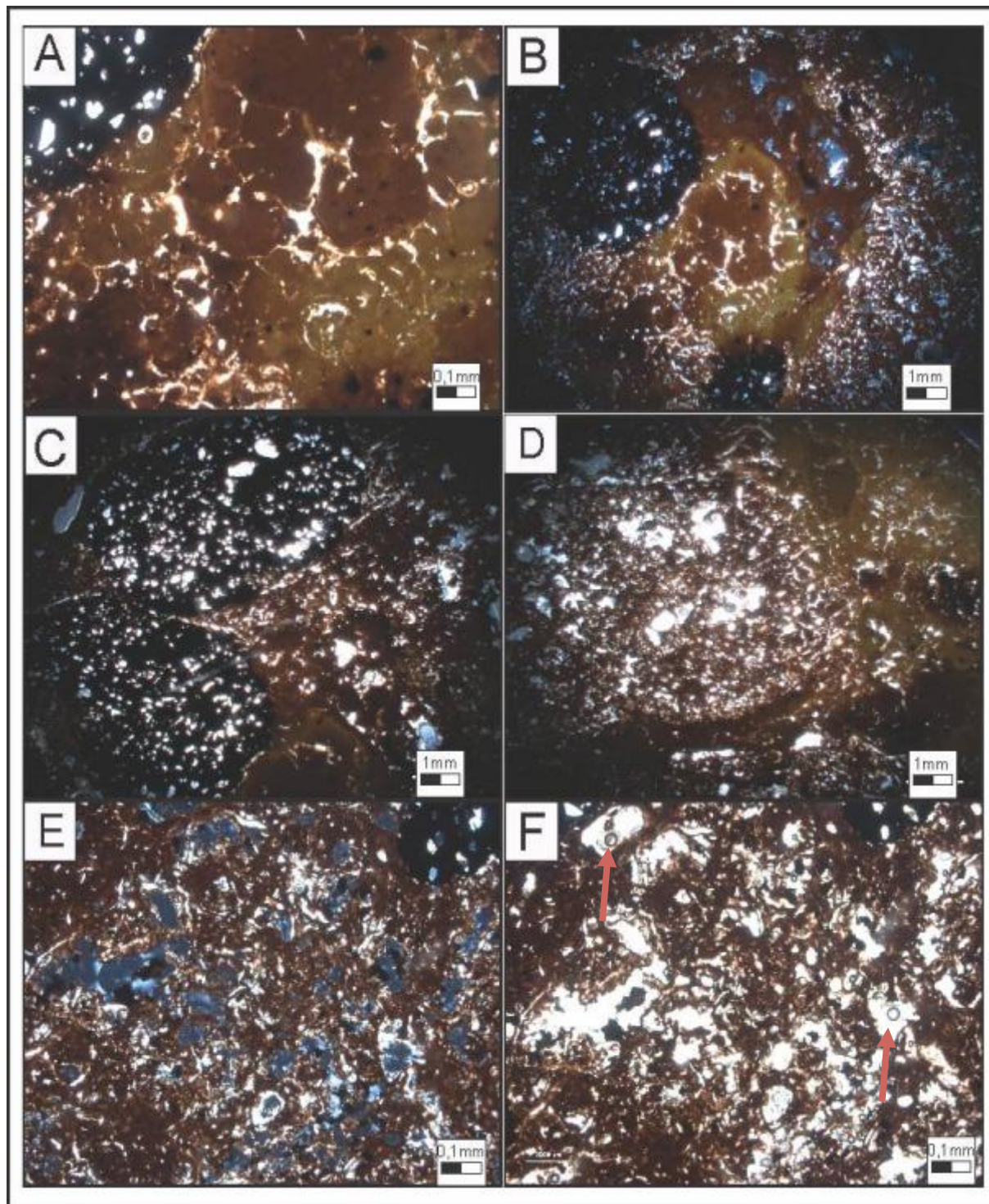


Figura 7.51: Aspectos texturais e estruturais do horizonte Laterita Ferruginosa-(LF); A: pisólito ferruginoso, de forma ovóide, alongado na direção E-W, poroso, envolto em matriz laterítica também porosa, evidenciando textura; B: detalhe da textura porosa/cavernosa do horizonte LF; C: contato entre a porção porosa (direita) com porção muito fraturada cavernosa (esquerda); D: detalhe dos poros sustentados por matriz/cimento ferruginoso, nota-se contato entre a porção porosa e a porção cavernosa.

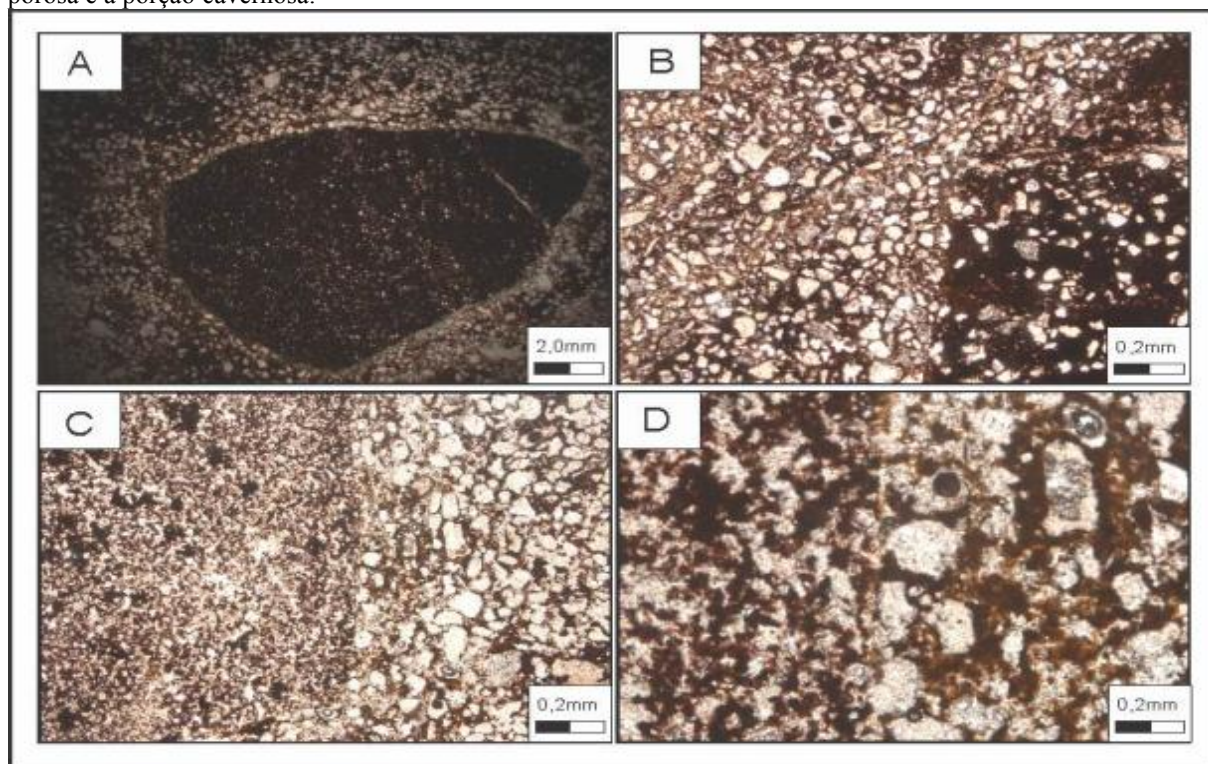


Figura 7.52: Aspectos texturais e estruturais do horizonte Laterita Ferruginosa-(LF); A: Pissólito de forma irregular poroso e fraturado disperso em matriz/ cimento laterítico; B: detalhe do pisólito fraturado e poroso; C: Poro oriundo da degradação de cristal de quartzo com preservação da forma e com fragmento de quartzo reliquiar; D: Textura porosa/cavernosa com piosólitos associados.

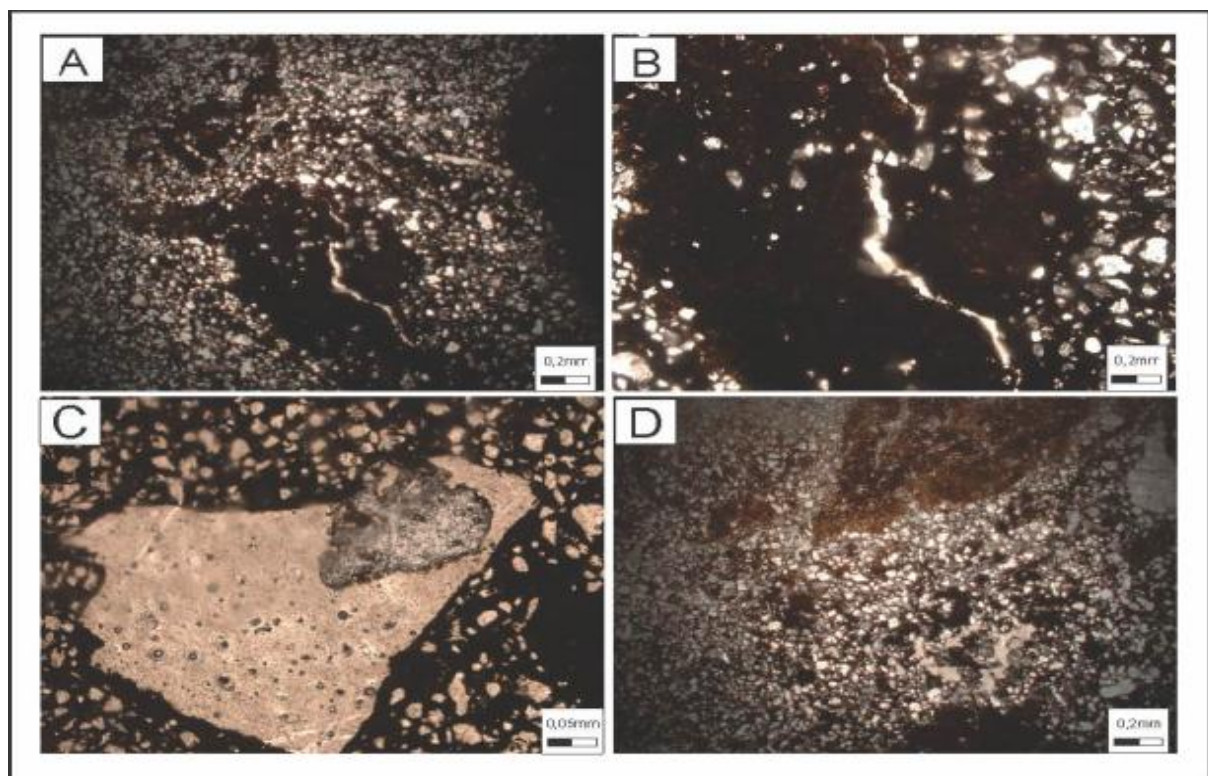
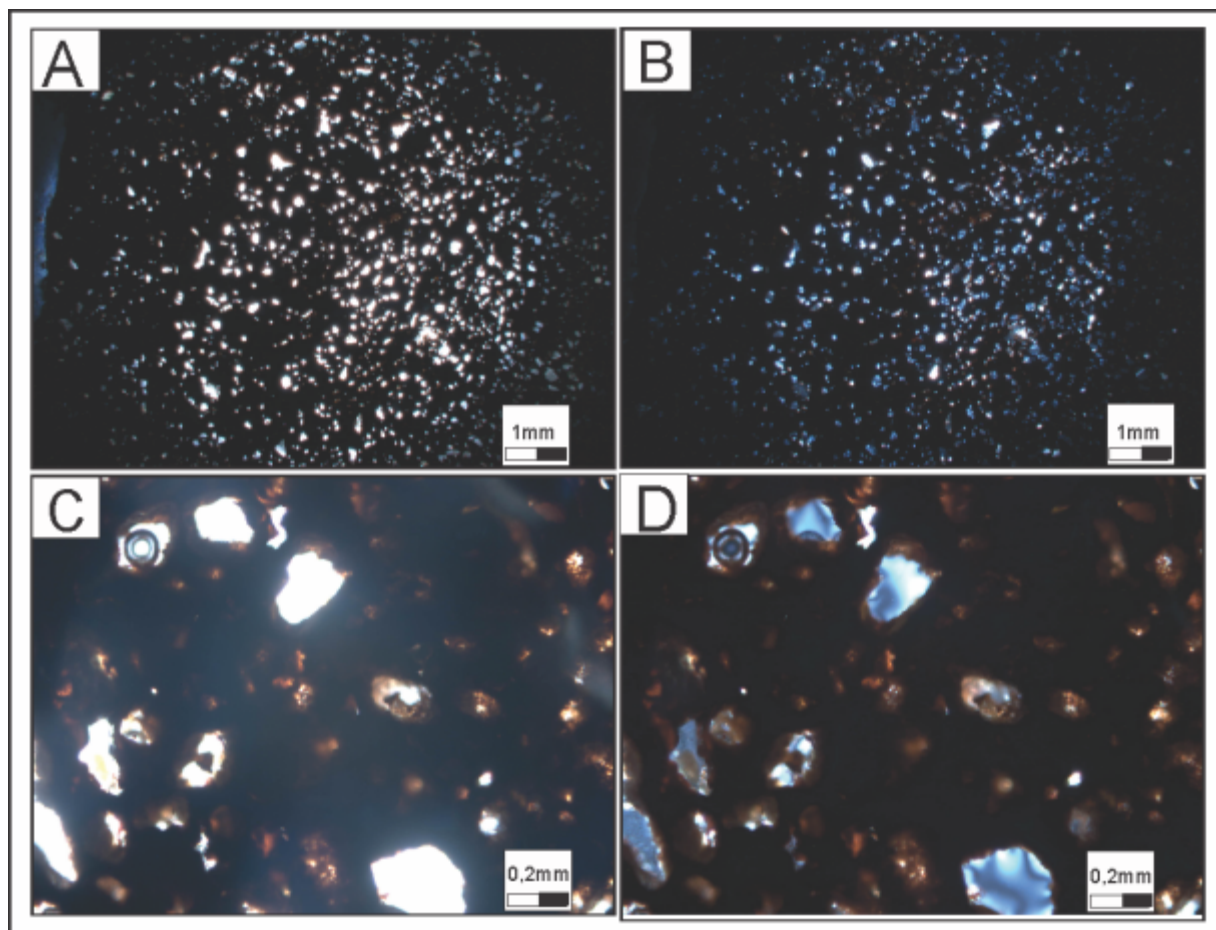


Figura 7.53: Aspectos texturais e estruturais do horizonte Laterita Ferruginosa-(LF) ; A: Vista geral da rocha evidenciando textura porosa; B: imagem de A em nicóis cruzados; C: detalhe da textura porosa; D: imagem de C em nicóis cruzados.

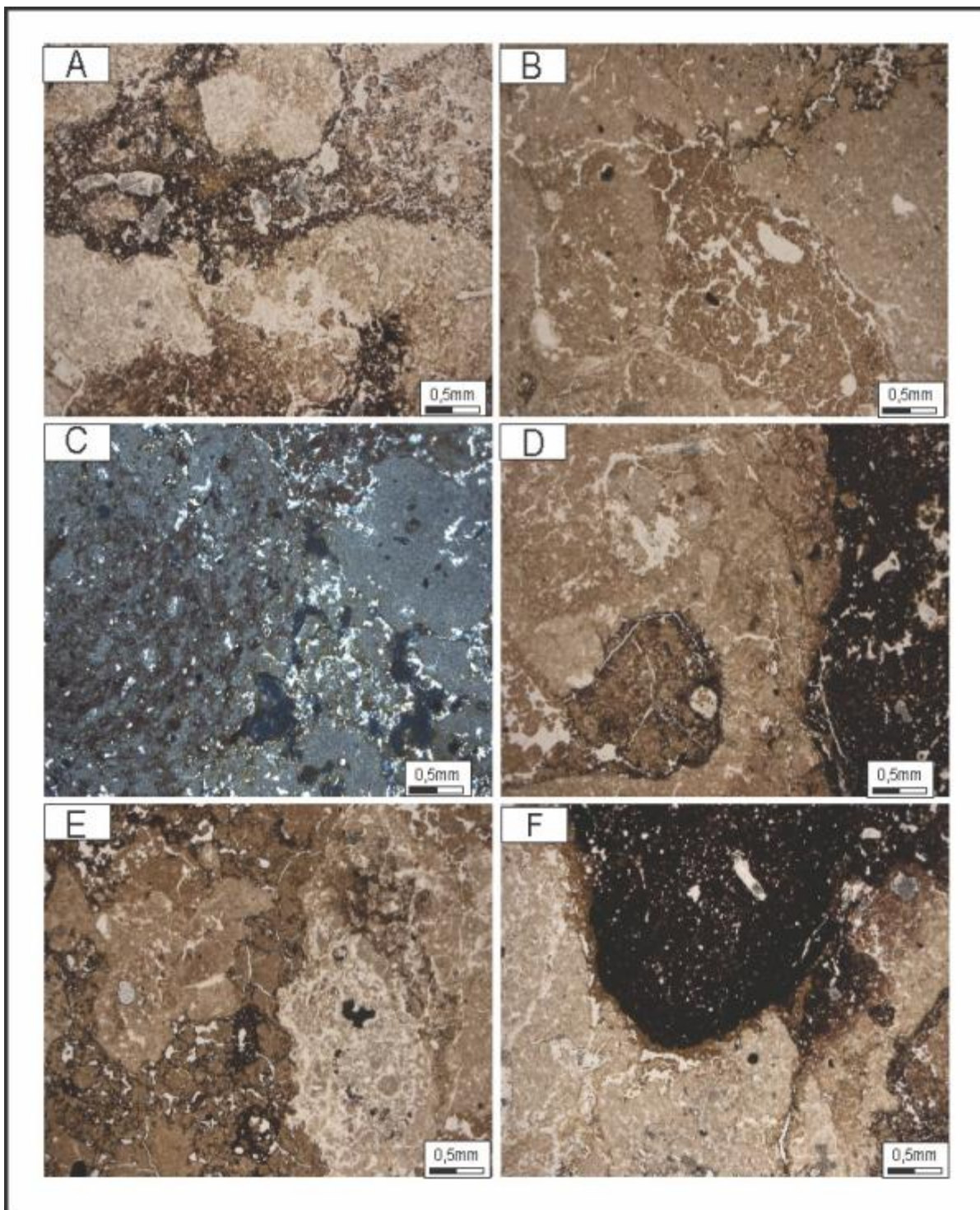


7.2.5 Horizonte Bauxita Nodular Cristalizada (BNC)

Rocha apresenta textura colomorfa, com porções nodulares. Consiste em material plasmático amarelado, marrom-róseo e avermelhado, associadas a pisólitos ferruginosos de até 1cm (Figura 7.54 e 7.55).

A porção amarelada compõe cerca de 45% da rocha, apresenta-se porosa (15-20%), com fraturas que agem como canais de percolação de fluidos, evidenciado pela fina película de material ferruginoso (hematítico-goethítico) localizada no entorno de vazios. Muitos desses canais encontram-se preenchidos ou semi-preenchidos por gibbsita mesocristalina (Figura 7.54-C).

Figura 7.54: Aspectos texturais e estruturais do horizonte Bauxita Nodular Cristalizada-(BNC) ; A: interação da porção amarelada com a porção avermelhada pisolítica (nicóis paralelos); B: interação da porção amarelada com pseudopisolito marrom bastante fraturado (nicóis paralelos); C: porção amarelada com porção vermelha disseminada e gibbsita mesocristalina recristalizada nos vazios (nicóis cruzados); D: porção amarelada em contato gradual com porção pisolítica (direita) e pseudopisolito gibbsítico marrom (esquerda) E: interação da porção amarelada com a porção marrom; F: pisólito ferruginoso com sinais de desferrificação (borda marrom) em contato com porção amarelada.

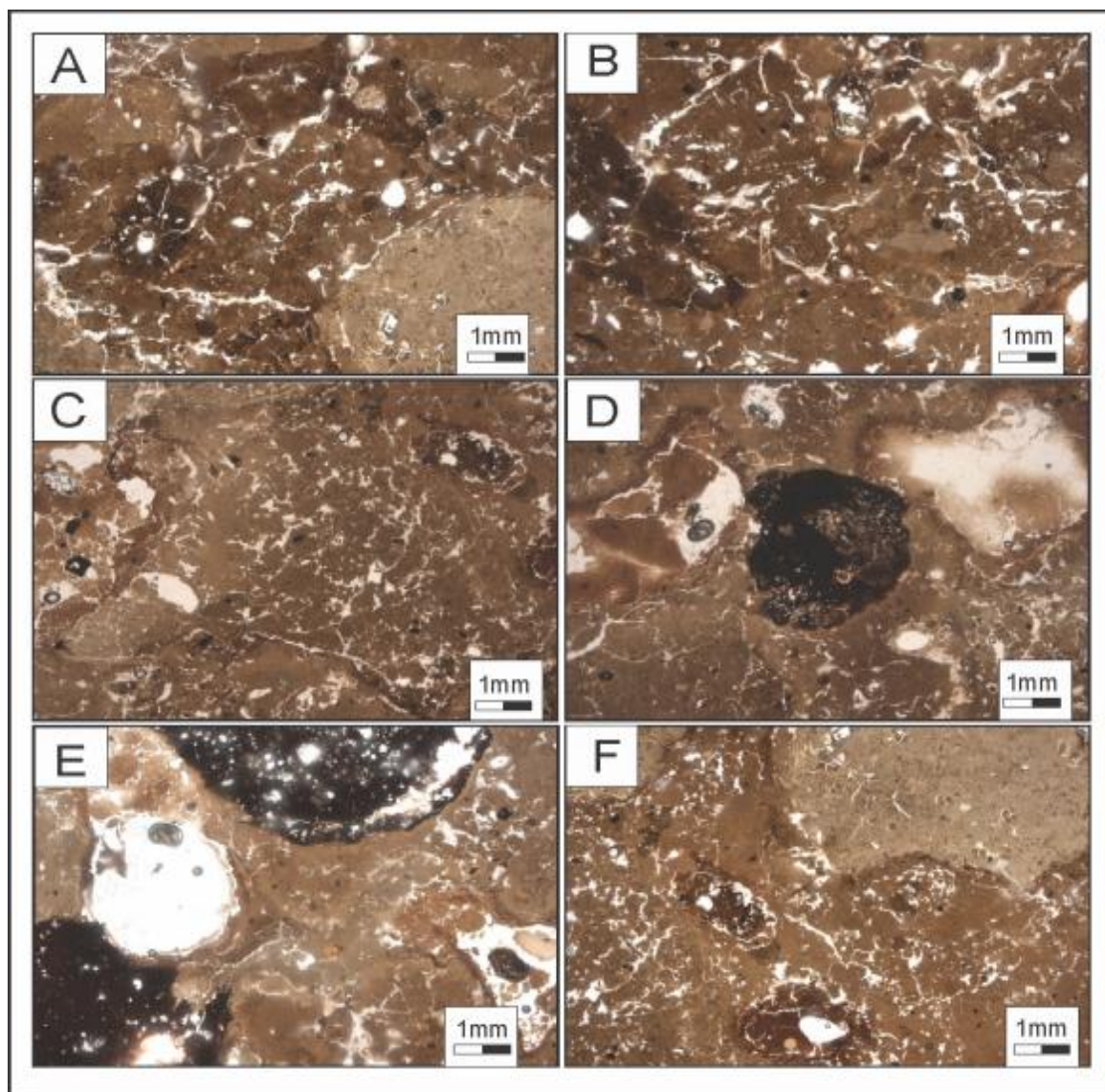


Os limites entre as porções são descontínuos e heterogêneos, havendo mistura, principalmente entre a porção amarelada e a porção marrom-róseo (Figura 7.55-D-E).

A porção marrom-róseo compõe cerca de 35% da rocha, apresenta-se bastante fraturada (Figura 7.55-B-E), com fragmentos angulosos de até 0,5cm e outros arredondados de até 2mm, essa porção é mais porosa que a porção amarelada (25-30%) e localiza-se preferencialmente no entorno da porção amarelada (Figura 7.55-E).

A porção avermelhada é composta por um plasma microcristalino irregular derivado da desferriificação dos pisólitos hematíticos (Figura 7.55-A), e pelos próprios pisólitos ferruginosos essencialmente hematíticos com porções gibbsítico-cauliníticas (Figura 7.55-C), preferencialmente alongados, por vezes fraturados e com poros e canais interligados (Figura 7.55).

Figura 7.55: Aspectos texturais e estruturais do horizonte Bauxita Nodular Cristalizada-(BNC); A: Textura pisolítica com matriz fraturada e pisólitos homogêneos; B: Matriz Gibbsítica com impregnação diferencial de minerais ferruginosos (goethita e hematita); C: Textura colomorfa difusa representando a matriz da rocha BNC; D: Pisólito ferruginoso em matriz gibbsítica colomorfa difusa; E: pisólitos ferruginosos arredondados envoltos em matriz caulínico-gibbsítica; F: Pseudopisólito Gibbsítico (canto superior direito) e pisólitos ferruginosos em matriz caulínico-gibbsítica.



7.2.6 Horizonte Bauxita Nodular (BN)

A estruturação nodular observada macroscopicamente está presente em escala microscópica, onde se observa micropisólitos envoltos em matriz formando os pisólitos centimétricos. Os pisólitos são formados por grãos microcristalinos amarelo-acinzentados de gibbsita (Figura 7.56-A-C-F), envoltos em plasma vermelho-amarronzado muito fino e pisólitos ferruginosos (hematítico-goethíticos) com poros e canais preenchidos ou não por gibbsita mesocristalina, em textura colomorfa e por vezes aspecto fluidal (Figura 7.56-B-C-D-F).

Uma característica importante é a estruturação concêntrica dos pisólitos (Figura 7.58, 7.59 e 7.60), com centro avermelhado, região intermediária cinzenta e porção periférica castanho-amarronzada, que representam a porção pisolítica ferruginosa-hematítica, porção gibbsito-caulinítica e porção goethítico-gibbsítica, respectivamente. A goethita possui um deslocamento do pico principal (001), causado pela substituição de Fe pelo Al em sua estrutura, essa substituição pode ser até de 20% (KOTSCHOUBEY *et al*, 2005).

As porções mais externas dos pisólitos são mais porosas, cavernosas e fraturadas, com gibbsita mesocristalina frequentemente preenchendo os vazios (Figura 7.56-C-D).

O material que envolve os pisólitos é creme-amarelado, muito fino, formado principalmente por caulinita e gibbsita. As porções apesar de heterogêneas apresentam praticamente os mesmo minerais, tais como, caulinita, gibbsita, goethita, hematita e anatásio.

Os minerais pesados são representados por zircão e turmalina.

Figura 7.56: Texturas e estruturas principais do Horizonte Bauxita Nodular- (BN) do perfil TR19-AM02; A: Pisólito ferruginoso (esquerda) envolto em matriz gibbsítica; B: Detalhe do pisólito ferruginoso com pseudopisólitos gibbsíticos em sua estrutura; C: Pisólito ferruginoso digerido e substituído por gibbsita mesocristalina nos vazios; D: Textura geral do horizonte; E: Estruturação concêntrica dos pisólitos; F: Pisólito ferruginoso em contato com a matriz ou plasma gibbsítico

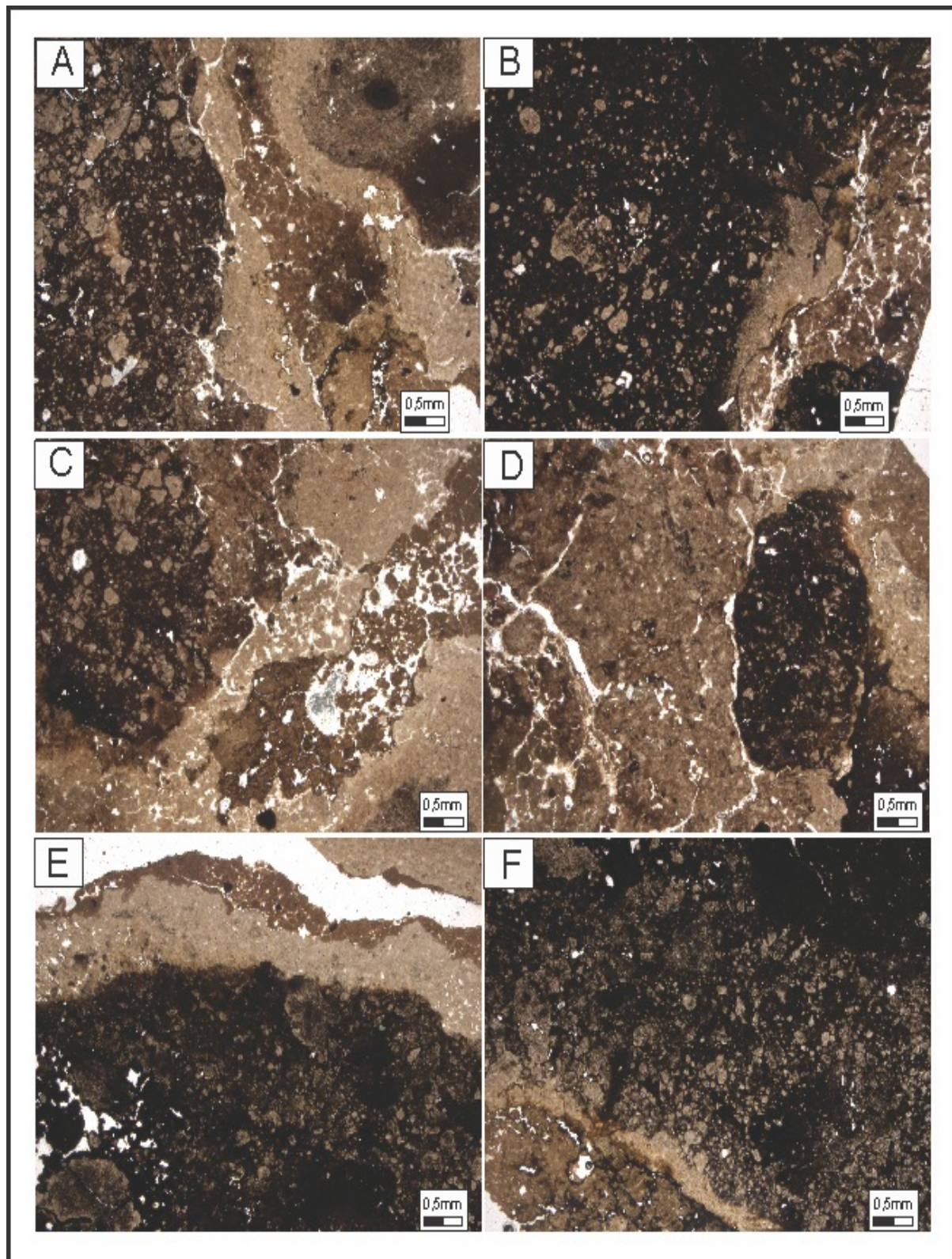
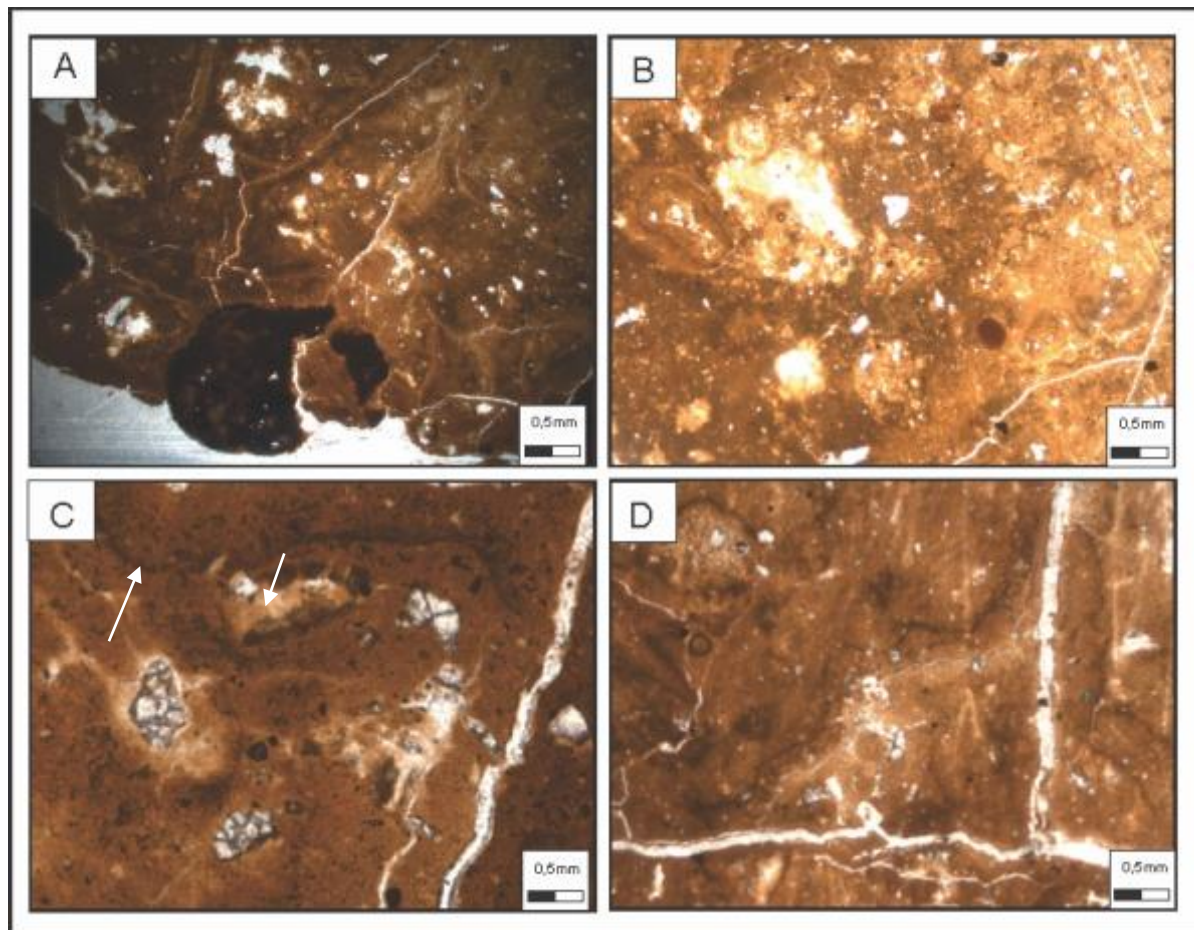
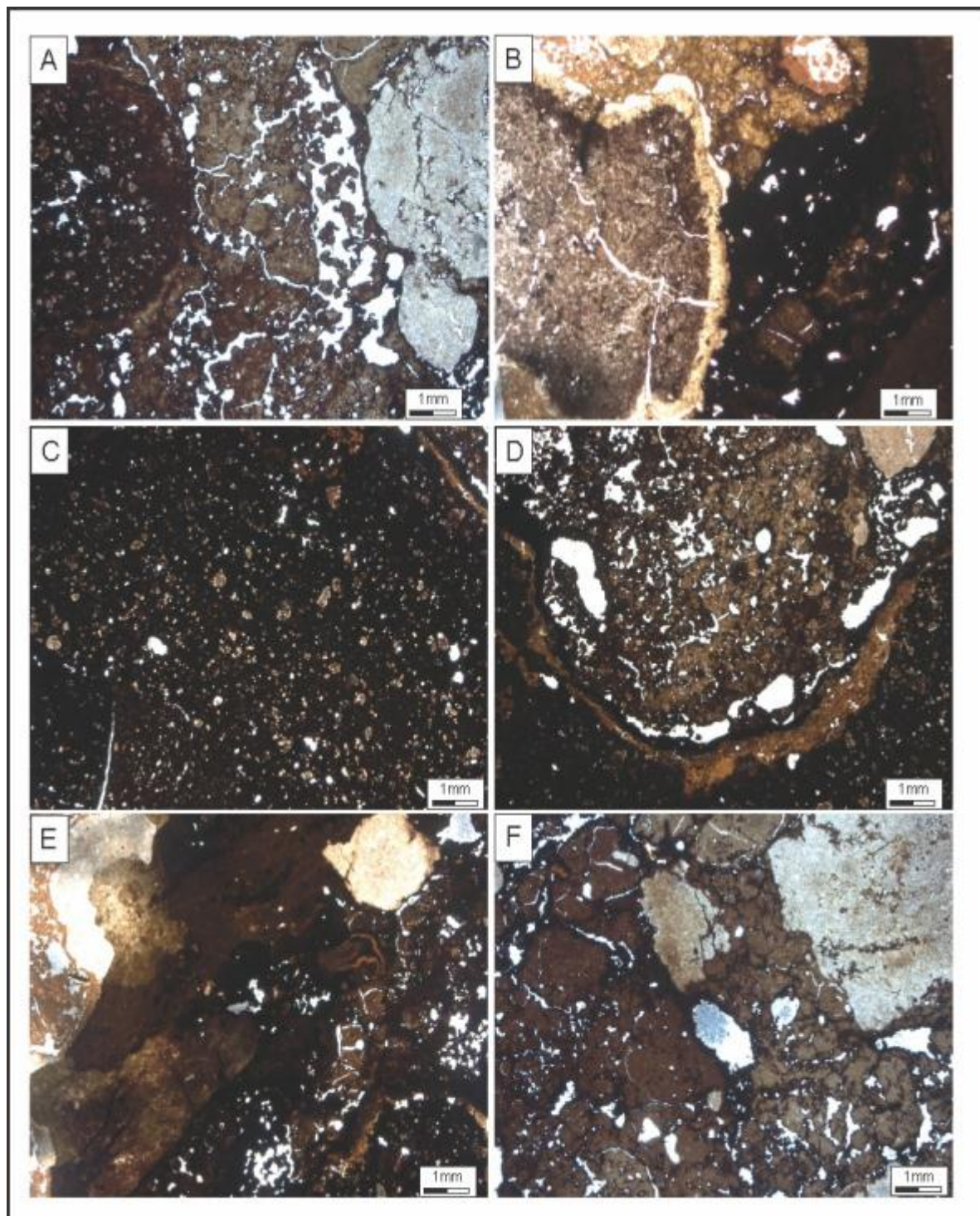


Figura 7.57: Texturas e estruturas principais do Horizonte Bauxita Nodular(BN), do perfil TR19-AM02; A: Pisólito ferruginoso fragmentado (centro-esquerda) envolto em matriz gibbsítica rica em ferro; B: Detalhe da matriz caulinitico-gibbsítica fina, com porções diferenciais proporcionadas pela heterogeneidade da distribuição dos minerais ferruginosos; C: matriz com fraturas e grãos/cristais reliquiais de quartzo e resistatos (seta) de zircão; D: Textura geral da matriz da fácies BN.



Observa-se também porções uniformes de um cristaliplasma marrom-avermelhado envolvendo fragmentos e pseudopisólitos irregulares, angulosos, arredondados, alongados de até 3mm de material gibbsítico (Figura 7.58-C). Em direção ao centro, observa-se uma fina película (<1mm) de um plasma amarelado, fino, de baixa cristalinidade (Figura 7.58-B-D), composto de goethita, gibbsita e caulinita.

Figura 7.58: Texturas e estruturas principais do horizonte Bauxita Nodular(BN) do perfil TR19-AM01; A: Pisólitos ferruginosos digeridos formando porosidade secundária, dispostos em plasma gibbsito-caulinítico; B: Pisólito ferruginoso com borda goethítica- gibbsito-caulinítica com porções ferruginosas e gibbsíticas associadas; C: Textura porosa, em pisólito ferruginoso; D: Pisólito ferruginoso com grau elevado de substituição por material gibbsítico; E: Plasma gibbsítico com porções enriquecidas por material ferruginoso; F: Pseudopisólitos gibbsíticos irregulares dispostos em plasma gibbsítico rico em Fe.



Os pisólitos são essencialmente hematíticos, entretanto, encontram-se bastante alterados e com substituição de oxi-hidróxidos de Fe por gibbsita e caulinita (Figura 7.59- 7.60)

A rocha possui porosidade não seletiva e distribui-se por toda rocha, por vezes os poros são conectados e podem estar preenchidos, semi-preenchidos por gibbsita meso cristalina ou podem estar livres, sem preenchimento.

Figura 7.59: Texturas e estruturas principais do horizonte Bauxita Nodular(BN); A: textura pisolítica, com pisólitos gibbsíticos e hematíticos envoltos em matriz caulinitico-gibbsítica; B: Porção da matriz rica em ferro, notar a cor marrom escura típico de minerais ferruginoso (hematita); C: Textura porosa/cavernosa, oriunda da degradação de pisólitos; D: Estruturação concêntrica do pisólito, com centro mais ferruginoso que a periferia.

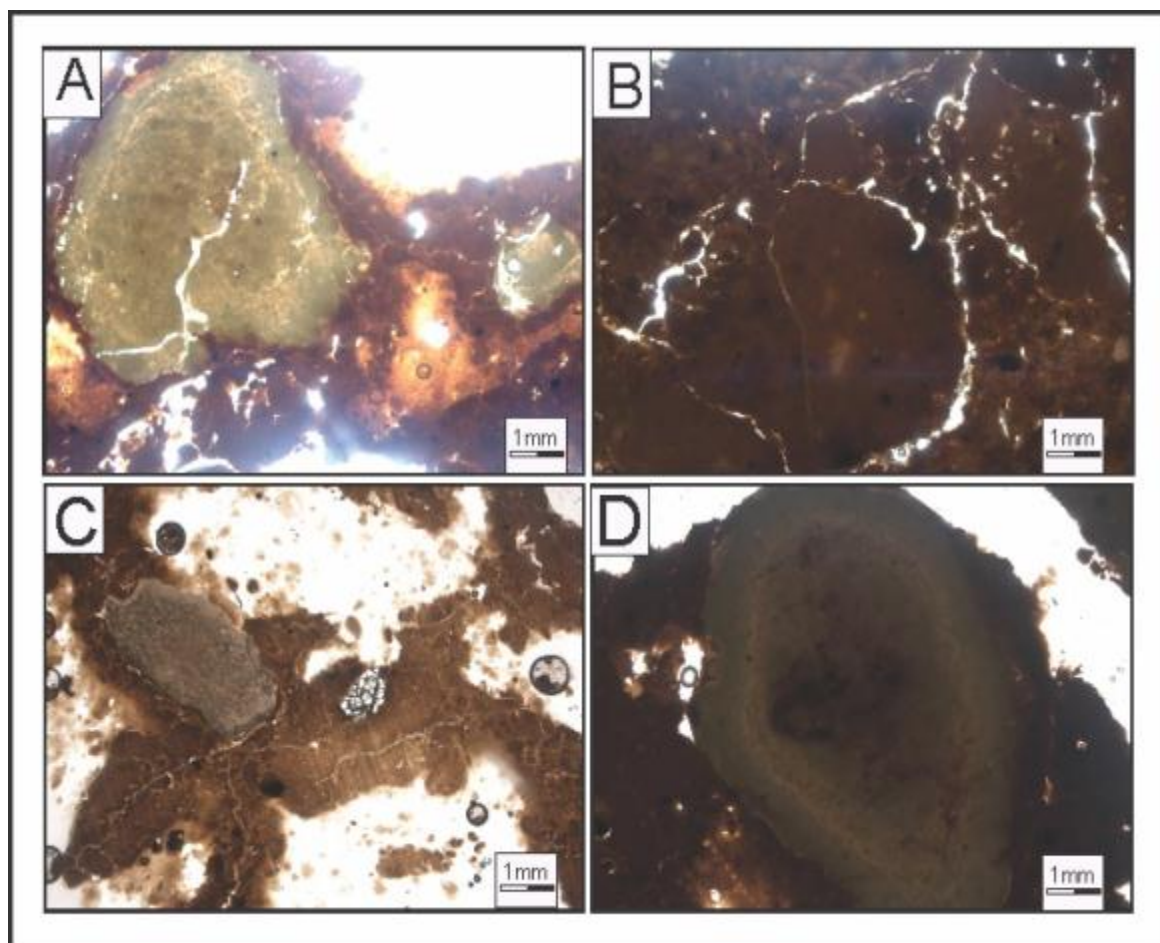
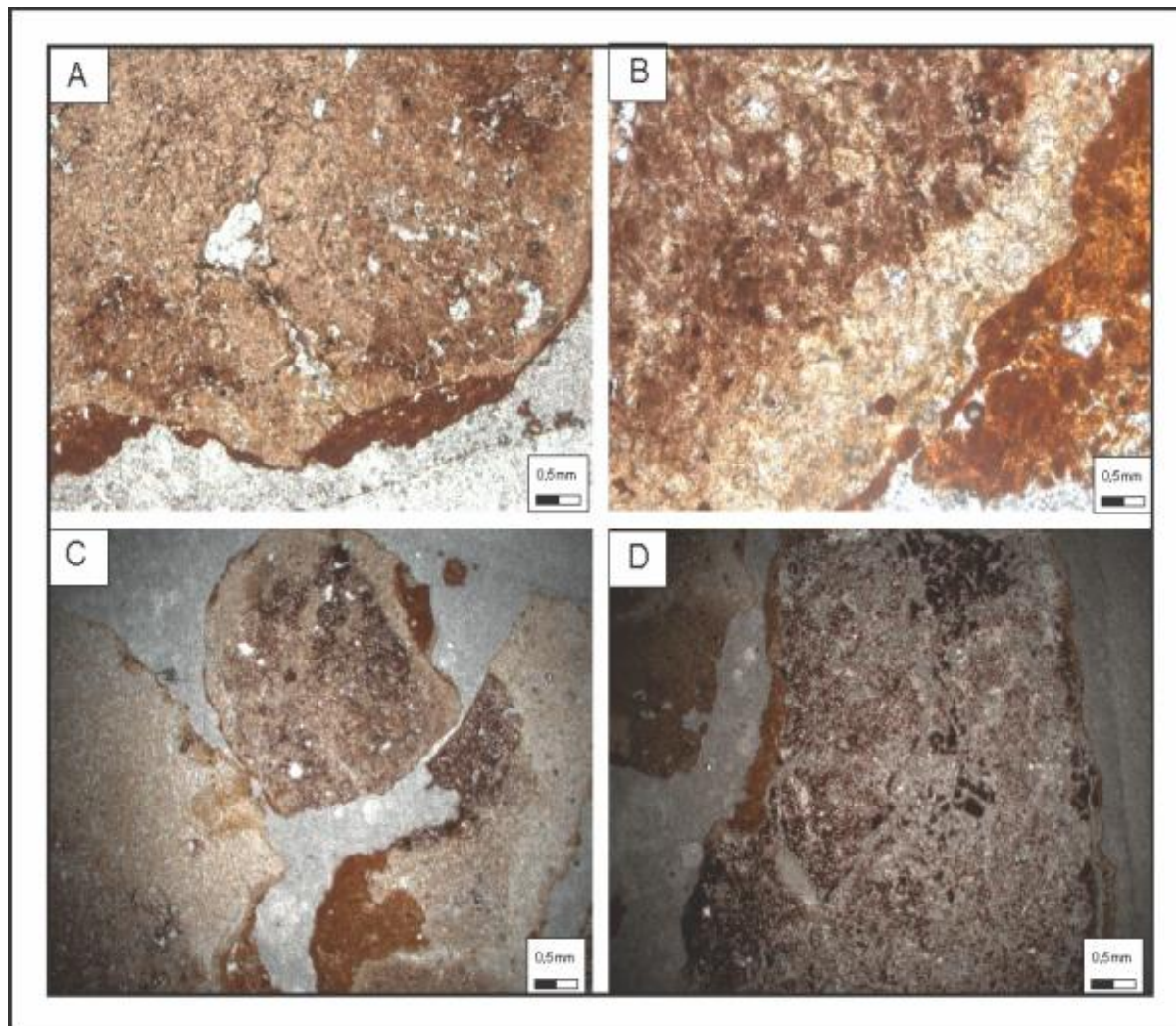


Figura 7.60: Texturas e estruturas principais do Horizonte Bauxita Nodular(BN); A: Pisólito gibbsítico-ferruginoso com borda essencialmente hematítica e subordinadamente goethítica; B: estruturação concêntrica do pisólito, no centro uma mistura quase equivalente de gibbsita e hematita, porção amarelo-creme essencialmente gibbsítica e porção periférica essencialmente hematítico-goethítica; C: Pisólitos fragmentados com porções gibbsíticas e hematíticas; D: Pisólito ferruginoso degradado e substituído por gibbsita.



7.3 GEOQUIMICA

Os perfis estudados no presente trabalho apresentam características geoquímicas bastante semelhantes, tanto nos resultados obtidos pelas análises fornecidas pela VALE- GEOSOL, quanto pelos resultados obtidos pelo Laboratório de Caracterização Mineral (LCM-UFPA).

7.3.1 Perfil FD2601

No perfil FD2601 observa-se na porção inferior, representada pelo Horizonte BCBA a maior concentração de sílica (SiO_2), com valores entre 15 e 18%, esta sílica é proveniente da caulinita e de quartzo. Pelos valores apresentados na tabela 7.2, observa-se que mais de 90% dessa sílica representa a porção reativa, ou seja, pertencente à caulinita.

Os valores de Al_2O_3 estão entre 48 e 51%, e são valores atribuídos principalmente a presença de gibbsita e caulinita e subordinadamente à substituição de Fe por Al na goethita, sendo somente pouco mais de 70% do total correspondente a porção aproveitável de alumina.

Os valores de Fe total não ultrapassam 5%, sendo correspondentes à goethita e hematita, os valores de TiO_2 giram em torno de 1%, correspondendo a presença de anatásio, enquanto a perda ao fogo, representado pela presença de água e voláteis apresentam valores entre 24 e 28%.

O Horizonte BC é o horizonte mais importante do ponto de vista econômico, pois apresenta os valores mais elevados de alumina e alumina aproveitável e valores mais baixos de sílica reativa, grande parte deles dentro dos parâmetros aceitáveis de mercado ($>50\% \text{Al}_2\text{O}_3_A$ e $< 5\%$, fonte: Aluminium Task Force, China 2008), com variações entre 49 e 56 % de Al_2O_3 e Al_2O_3_A entre 47 e 53%. Esses altos valores e alumina são correspondentes a grande concentração de gibbsita com pouca caulinita associada, típica do Horizonte BC.

Os valores de SiO_2 e SiO_2_R encontram-se entre 3 e 9% e 2,8 e 8,5%, respectivamente, correspondentes a presença de caulinita, conforme as tabelas 7.1 e 7.2, enquanto os valores de Fe_2O_3 encontram-se entre 4 e 20%, sendo os maiores valores correspondentes as amostras localizadas no contato com o Horizonte LF.

Tabela 7.1: Valores de concentração de óxidos a partir de análise de fluorescência de raios-x nas amostras dos diferentes horizontes do perfil FD2601 (LCM-UFPA).

BAU-VERC-FD2601		PLATÔ V4- PÓLO VERA CRUZ					
		Análise Químicas – LCM UFPA					
		Al2O3%	Fe2O3%	PF%	SiO2%	TiO2%	OUTROS
CAPEAMENTO		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BN	FD2601-AM01	51,94	8,08	27,3	10,97	1,35	0,32
	FD2601-AM02	45,82	15,02	26,45	11,1	1,24	0,32
BNC	FD2601-AM03	41,77	19,15	24,53	12,97	1,12	0,42
LF	FD2601-AM04	43,21	19,03	24,84	11,37	1,16	0,35
	FD2601-AM05	27,52	41,64	19,05	10,4	0,87	0,44
BC	FD2601-AM06	53,01	20,18	19,05	5,67	1,56	0,43
	FD2601-AM07	54,63	9,46	29,57	4,37	1,55	0,33
	FD2601-AM08	53,07	10,53	30,1	4,16	1,64	0,4
	FD2601-AM09	54,9	6,94	31,21	5,23	1,31	0,31
	FD2601-AM10	53,37	5,06	31,08	9,4	0,83	0,21
BCBA	FD2601-AM11	48,12	4,44	28,25	17,87	0,91	0,35
BA	FD2601-AM12	-	-	-	-	-	-

Tabela 7.2: Valores de concentração de óxidos a partir de análise de Fluorescência de Raios-x nas amostras dos diferentes horizontes do perfil FD2601(VALE-GEOSOL).

BAU-VERC-FD2601		PLATÔ V4- PÓLO VERA CRUZ							
		Análises Químicas - VALE GEOSOL							
		Al2O3%	AlA%	Fe2O3%	PF%	SiO2%	SiO2_R%	TiO2%	P2O5%
CAPEAMENTO		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BN	FD2601-AM01	53,90	47,20	5,78	28,00	8,27	7,12	1,11	< 0,105
	FD2601-AM02	49,00	41,00	12,30	25,60	9,44	9,33	1,20	< 0,105
BNC	FD2601-AM03	44,80	35,50	15,60	23,50	11,50	10,90	1,15	< 0,105
LF	FD2601-AM04	46,30	38,00	16,20	24,00	10,10	10,00	1,19	< 0,105
	FD2601-AM05	30,00	21,40	40,00	16,70	10,20	9,75	0,97	< 0,105
BC	FD2601-AM06	49,60	47,50	14,20	26,80	4,53	3,71	1,46	< 0,105
	FD2601-AM07	54,10	53,10	7,42	29,20	3,83	2,85	1,59	< 0,105
	FD2601-AM08	54,10	53,30	7,83	29,30	3,69	3,34	1,59	< 0,105
	FD2601-AM09	56,00	53,20	5,68	29,40	4,74	4,39	1,34	< 0,105
	FD2601-AM10	55,80	49,30	4,16	28,00	8,70	8,54	0,92	< 0,105

BCBA	FD2601-AM11	51,10	38,60	3,67	24,90	15,70	14,90	1,02	< 0,105
BA	FD2601-AM12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

TiO₂ como anatásio, apresenta concentrações entre 0,8 e 1,6% e os valores de perda ao fogo ficam entre 19 e 31%, sendo os menores valores representados pelas amostras que encontram-se no contato com LF.

O Horizonte LF apresenta as maiores concentrações de Fe₂O₃ com valores entre 16 e 41,6%, correspondentes a hematita e goethita, e as menores concentrações de alumina e alumina aproveitável que apresentam entre 27 e 46% e 21 e 38%, respectivamente, correspondendo a caulinita, gibbsita e goethita aluminosa. Os valores apresentam grandes diferenças, pois a porção superior do LF já sofreu grande influência de processos de bauxitização, onde grande parte do Fe é removido e substituído por Al.

Os valores de TiO₂ giram em torno de 0,8 e 1,1%, correspondente ao anatásio, enquanto os valores de perda ao fogo ficam em torno de 16 e 25%.

O horizonte BNC apresenta valores de Al₂O₃ e Al₂O₃_A entre 41 e 44,8% e 35,5%, respectivamente, e valores de SiO₂ e SiO₂_R entre 11 e 13% e 10,9%, respectivamente, valores esses abaixo das exigências de mercado. Os valores de Fe_{total} giram em torno de 15 e 20%, correspondentes a hematita e goethita e TiO₂ é estável em 1,1%, correspondente ao anatásio. Os valores de perda ao fogo ficam em torno de 24%.

O Horizonte BN apresenta valores elevados de Al₂O₃, entre 45 e 54%, entretanto, os valores de Al₂O₃_A encontram-se entre 41 e 47%, mostrando apesar da predominância de gibbsita, grande parte da alumina é proveniente de caulinita, ou seja, ainda não apresenta boas condições para exploração.

Os valores de perda ao fogo apresentam-se igualmente elevados com variações entre 25 e 28%, tais valores corroboram a presença de minerais hidratados, tais como caulinita e gibbsita no horizonte BN. Os valores de Fe_{total} alcançam até 15%, dependendo da quantidade de pisólitos e do próprio grau de substituição de Fe por Al nos pisólitos.

A sílica corresponde quase que inteiramente a presença de caulinita, haja vista os valores da porção reativa se aproximarem bastante dos valores de sílica total (SiO₂_{total}: 8-11%; SiO₂_R: 7-9,3%). Os valores de TiO₂ são atribuídos ao anatásio, com concentrações entre 1,1 e 1,3%.

7.3.2 Perfil TR19

O perfil da Trincheira 19 é o mais completo de todos os perfis estudados, comporta 8 horizontes, representados por ARV, BA, BCBA, BC, LF, BNC, BC E CAP, sendo que para análise química por Fluorescência de Raios-X foram somente utilizados BA, BCBA, BC, LF, BNC E BC (Tabelas 7.3 e 7.4)

O Horizonte BA apresenta altos valores de concentração de Al_2O_3 e $Al_2O_3_A$, com concentrações acima de 50%, mais precisamente entre 57 e 58% e pouco mais de 53%, respectivamente. Apresenta ainda valores aceitáveis para SiO_2_R , em torno de 3,7%.

A concentração de Fe_{total} é baixa, entre 2 e 4%, evidenciando a presença modesta de hematita e goethita nesse horizonte. A perda ao fogo revelou valores em torno de 30%, mostrando grande quantidade de minerais hidratados como caulinita e gibbsita. Os valores de TiO_2 correspondentes ao anatásio não ultrapassam 2% em todo o perfil.

O Horizonte BCBA apresenta assim como o Horizonte BA, valores elevados de alumina e alumina aproveitável, acima de 50%, com Al_2O_3 variando de 52 a 61% e $Al_2O_3_A$ variando de 50 a 55%. Esses valores correspondem a grande quantidade de gibbsita e subordinadamente caulinita.

Os valores de Fe_{total} são variáveis, sendo a porção mais inferior empobrecida em relação a porção superior, com valores de concentração entre 1 e 12%. Os valores de concentração de sílica estão entre 3 e 5,7% e a porção reativa apresenta-se em torno de 2,5%, evidenciando a coexistência de quartzo e caulinita no horizonte.

Os valores de perda ao fogo giram em torno de 30%, mostrando grande concentração de minerais hidratados e TiO_2 como anatásio sempre em torno de 1%.

O Horizonte BC apresenta os valores de concentração mais elevados de alumina e alumina aproveitável, com valores entre 55 e 61% e 54 e 57,7%, respectivamente, correspondendo principalmente a grande concentração de gibbsita em detrimento a caulinita nesse horizonte.

Os valores de Fe_{total} variam de 2 a 8%, sempre aumentando em direção ao topo do horizonte BC e base do horizonte LF. A sílica não ultrapassa os 4%, com porção reativa em torno de 2%.

Os valores de perda ao fogo giram em torno de 30%, correspondendo a presença de gibbsita e caulinita, e TiO_2 em torno de 1%, sob a forma de anatásio.

Pelos valores apresentados para o Horizonte BC, observa-se a boa qualidade da bauxita para exploração, dentro das exigências atuais de mercado.

O Horizonte LF apresenta valores de concentração elevados de Fe_{total} , variando de 65 a 69%, por ser composto essencialmente de hematita, revela valores de perda ao fogo inferiores a 15%.

Apresenta os menores valores de sílica, em torno de 3%, resultado da forte degradação e lixiviação dos grãos de quartzo aprisionados na matriz ferruginosa.

Os valores de alumina e alumina aproveitável são modestos e torno de 15 e 9%, respectivamente, enquanto os valores de TiO_2 correspondentes ao anatásio giram em torno de 1%.

O Horizonte BNC apresenta valores elevados de Al_2O_3 em torno de 50% , entretanto, a porção aproveitável é baixa, em torno de 43,5%, mostrando forte associação de gibbsita com caulinita.

A concentração de sílica gira em torno de 5 e 7%, com porção reativa em torno de 4 a 6%, mostrando que a caulinita é dominante na amostra. As concentrações de Fe_{total} são modestas, sempre em torno de 15%, com associação entre hematita e goethita.

A perda ao fogo é elevada, em torno de 28% e a concentração de TiO_2 para anatásio é de 1,5%.

O Horizonte BN apresenta concentração de alumina e alumina aproveitável em torno de 45 a 48% e 38 a 42%, respectivamente, sílica reativa em concentrações variando entre 6 e 7% e Fe_{total} acima de 15%. São valores ainda não contemplam as necessidades atuais de mercado, apresentando muita caulinita, hematita e goethita, com concentrações insuficientes de gibbsita.

A perda ao fogo é elevada com valores acima de 23%, chegando a 26% na base do horizonte, onde há enriquecimento de minerais hidratados como caulinita e gibbsita subordinada.

Tabela 7.3: Valores de concentração de óxidos a partir de análise de Fluorescência de Raios-x nas amostras dos diferentes horizontes do perfil TR19 (LCM-UFPA).

BAU-VERC-TR19		PLATÔ V2- PÓLO VERA CRUZ					
		ANÁLISES QUÍMICAS- LCM-UFPA					
		Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	PF%	SiO ₂ %	TiO ₂ %	P ₂ O ₅ %
CAPEAMENTO							
BN	VERC-TR19-AM01	45,25	20,41	23,7	9,26	1,58	< 0,105
	VERC-TR19-AM02	46,32	17,49	26,9	8,85	1,19	< 0,105
BNC	VERC-TR19-AM03	49,9	15,60	27,9	5,51	1,55	< 0,105
LF	VERC-TR19-AM04	17,5	65,87	14,3	3,61	0,444	< 0,105
	VERC-TR19-AM05	15,32	66,65	14,65	3,31	0,428	< 0,105
BC	VERC-TR19-AM06	54,99	9,63	31,75	3,02	1,40	< 0,105
	VERC-TR19-AM07	61,03	3,98	28,65	3,85	1,45	< 0,105
BCBA	VERC-TR19-AM08	54,65	9,31	29,63	5,21	1,56	< 0,105
	VERC-TR19-AM09	60,97	3,21	30,9	3,69	1,13	< 0,105
BA	VERC-TR19-AM10	57,2	4,19	31,7	4,03	1,25	< 0,105

Tabela 7.4: Valores de concentração de óxidos a partir de análise de Fluorescência de Raios-x nas amostras dos diferentes horizontes do perfil TR19 (VALE-GEOSOL).

BAU-VERC-TR19		PLATÔ V2- PÓLO VERA CRUZ						
		ANÁLISES QUÍMICAS- VALE-GEOSOL						
		Al2O3%	AlA%	Fe2O3%	PF%	SiO2%	SiO2_R%	TiO2%
CAPEAMENTO								
BN	VERC-TR19-AM01	46,2	38,8	18,5	25,0	7,61	7,20	1,38
	VERC-TR19-AM02	48,7	42,6	15,4	25,9	6,74	6,47	1,16
BNC	VERC-TR19-AM03	51,0	43,7	11,0	26,9	7,81	7,65	1,45
LF	VERC-TR19-AM04	14,1	9,52	68,9	13,3	3,5	2	0,444
	VERC-TR19-AM05	13,6	9,25	69,4	12,5	3,34	1,7	0,428
BC	VERC-TR19-AM06	56,9	54,7	8,23	30,1	2,55	1,94	1,36
	VERC-TR19-AM07	60	57,7	2,61	30,9	3,19	2,46	1,56
BCBA	VERC-TR19-AM08	52,8	49,7	12,1	28,2	3,21	2,80	1,88
	VERC-TR19-AM09	59,7	55,2	1,63	29,9	5,71	2,5	1,23
BA	VERC-TR19-AM10	58,5	53,6	2,79	29,7	6,03	3,71	1,05

7.3.3 Perfil FD2460

As análises foram realizadas exclusivamente no Laboratório de Caracterização Mineral (LCM-UFPA), contando com valores de concentração dos principais óxidos, incluindo a Perda ao Fogo, entretanto, sem os valores de sílica reativa e alumina aproveitável.

O Horizonte ARV, não foi analisado, sendo a descrição geoquímica começando pelo Horizonte BCBA.

O Horizonte BCBA apresenta valores de concentração de Al_2O_3 em torno de 52%, sendo a maior parte de valor correspondente a grande quantidade de gibbsita e subordinadamente caulinita. A concentração de Fe_{total} gira em torno de 8%, sendo correspondente a presença de goethita e hematita. Os valores de sílica giram em torno de 12%, enquanto TiO_2 fica em torno de 0,7% e perda ao fogo acima de 27%.

O Horizonte BC apresenta valores de concentração de Al_2O_3 entre 47 e 56,5%, Fe_{total} com variação de 2 a 17,5%, perda ao fogo em torno de 28%, SiO_2 variando de 4 a 9% e TiO_2 em torno de 2%.

O Horizonte LF possui concentrações de Al_2O_3 entre 16,5%, Fe_{total} em torno de 62%, perda ao fogo em torno de 12%, SiO_2 variando de 8% e TiO_2 em torno de 0,6%.

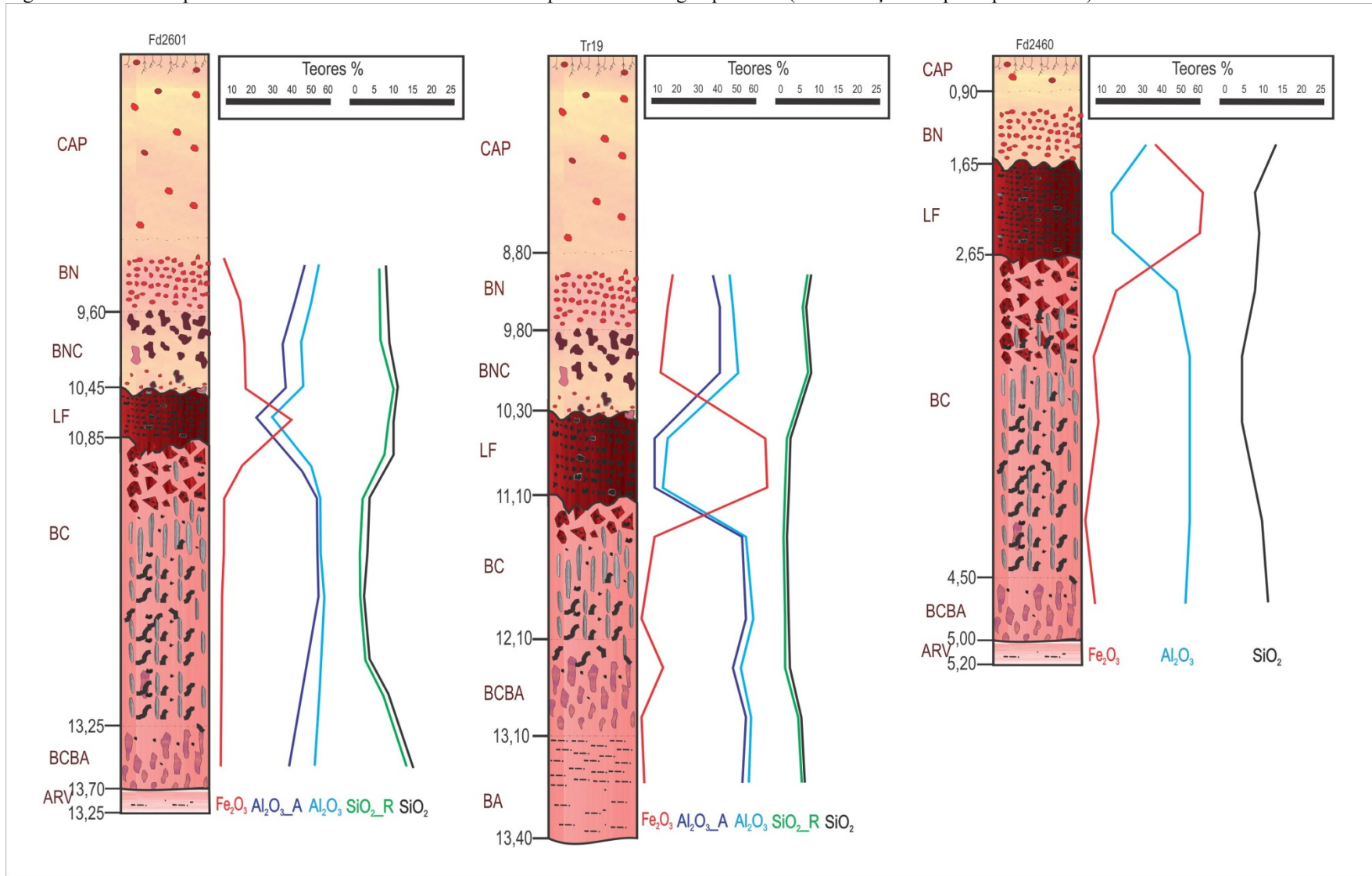
O Horizonte BN apresenta concentração de Al_2O_3 em torno de 30%, Fe_{total} em torno de 36%, perda ao fogo em torno de 17%, SiO_2 com 14% e TiO_2 em torno de 1%.

Pelos dados apresentados pode-se concluir que o horizonte BCBA apresenta conteúdos de sílica e Fe muito elevados para dar rentabilidade a exploração para Alumínio, assim como BN por apresentar características químicas semelhantes, além de LF que é essencialmente ferruginoso e igualmente inviável.

Tabela 7.5: Valores de concentração de óxidos a partir de análise de Fluorescência de Raios-x nas amostras dos diferentes horizontes do perfil FD2460 (LCM-UFPA).

BAU-VERC-FD2460		PLATÔ V2- PÓLO VERA CRUZ				
		ANÁLISES QUÍMICAS- LCM-UFPA				
		Al2O3%	Fe2O3%	PF%	SiO2%	TiO2%
CAPEAMENTO						
BN	VERC-FD2460-AM01	30,95	36,29	17,29	14,08	1,05
LF	VERC-FD2460-AM02	16,57	62,58	12,22	7,37	0,63
	VERC-FD2460-AM03	16,89	61,30	12,20	8,59	0,55
BC	VERC-FD2460AM04	47,53	17,48	26,38	7,04	1,20
	VERC-FD2460-AM05	55,66	7,88	29,08	4,19	2,09
	VERC-FD2460-AM06	54,12	10,30	28,36	4,79	1,91
	VERC-FD2460-AM07	56,47	2,62	30,54	9,40	0,76
BCBA	VERC-FD2460-AM08	51,99	8,19	27,20	11,71	0,70

Figura 7.61: Perfis representativos da área estudada com seus respectivos dados geoquímicos (concentrações de principais óxidos).



8 EVOLUÇÃO GEOLÓGICA

A província Bauxitífera de Paragominas insere-se no quadro dos depósitos residuais que constituem a parte inferior da sequência laterítica-sedimentar desenvolvida durante o Paléogeno em toda a Amazônia Oriental (KOTSCHOUBEY ; TRUCKENBRODT, 2003).

O Domínio Meridional onde localizam os perfis apresentados no presente trabalho, constituem agrupamentos de platôs laterito-bauxítico de gênese complexa e evolução polifásica, haja vista sua estruturação, características físico-químicas e distribuição geográfica.

Seguindo a linha de pensamento proposta por Costa (1984), Kotschoubey et al (1997), Calaf (2000) e Kotschoubey *et al* (2005 a e b), pode-se admitir um modelo evolutivo que contemple o que já foi apresentado por estes autores, com os dados apresentados no presente trabalho.

Primeiramente, tem-se a alteração intempérica dos arenitos e pelitos das formações Itapecurú e Ipixuna, do Cretáceo podsolização tropical, de Costa (1984). Observa-se forte influência da ação de raízes e microrganismos em geral (bioturbação), que alteraram o pH até então em torno de 4, além da influência direta do lençol freático que se encontrava próximo à superfície. Todos esses fatores promoveram a dissipação parcial das estruturas sedimentares e desenvolvimento de espesso manto de alteração com associação mineral composta essencialmente por quartzo, goethita, caulinita de boa cristalinidade, hematita, bem como resíduos de feldspato, micas e minerais resistentes como rutilo, zircão e turmalina. Tais transformações ocorreram provavelmente no final do Cretáceo ou no início do Paleógeno (Paleoceno).

Concomitante a alteração inicial, ocorre a formação da couraça ferruginosa, já em clima quente e úmido, a partir da ferruginização dos sedimentos e alteração por impregnação de soluções ricas em oxi-hidróxidos de ferro e substituição de caulinita por hematita (Kotschoubey *et al.* 2005b). Considerando o baixo conteúdo de Fe nos sedimentos parentais e sua pequena espessura no início da evolução, esses autores admitem que a acumulação e enriquecimento absoluto desse elemento se deu principalmente pelo aporte lateral, haja vista o desenvolvimento de crosta de espessura métrica e conteúdo de ferro por vezes superior a 70%, como foi observado neste trabalho. Kotschoubey *et al.* (2005b) acreditam ainda que os sedimentos cretáceos não foram as únicas fontes de ferro, e sim de uma crosta ferruginosa

anterior a eles, que sustentava uma superfície mais antiga que a superfície Sul-Americana de King (1967).

A movimentação do Fe se deu principalmente sob a forma de complexos organometálicos estáveis e subordinadamente na forma de íons simples ou complexos, fazendo com que o Fe migrasse para áreas mais planas pela erosão. A reprecipitação de Fe se deu sob a forma de oxi-hidróxidos mal cristalizados ou amorfos formados pelo encontro das mesmas com o lençol freático suficientemente oxidante para desestabilizar os complexos (KOTSCHOUBEY et al. 2005b).

A partir daí ocorreu uma fase de degradação dessa couraça ferruginosa, possivelmente pelas mudanças climáticas para um clima ainda mais úmido. Essa fase de degradação iniciou-se com individualização de estruturas colunares, tanto pela ação superficial quanto pela ação subordinada da capilaridade, e seguiu-se com a fragmentação mais acentuada e consequente formação de pisólitos no topo, seguindo o pressuposto clássico de degradação química de crostas lateríticas (NAHON 1991, TARDY 1993, CALAF 2000).

Nota-se que a degradação da crosta foi controlada pela relação com sedimentos parentais, pelo menos em alguns setores, onde nos horizontes nodulares a crosta apresenta textura fina enquanto nos horizontes maciços derivam de sedimentos de textura grossa.

A degradação afetou a couraça ferruginosa de formas e intensidades diferentes, promovendo a formação de texturas diferentes para o horizonte, dependendo do seu grau de degradação, podendo ser pisolítico, colunar ou esponjoso.

O retrabalhamento dos produtos tanto ferruginosos como sedimentos parentais foram importantes, e se depositaram sob a forma de fluxos gravitacionais, promovendo a redistribuição irregular. Na zona 4 definida por Kotschoubey *et al* (2005b), onde se encontram os perfis estudados, os produtos seriam fortemente ferruginosos imersos em matriz argilosa, matéria-prima para a futura bauxitização, este dismantelamento e retrabalhamento ocorreu possivelmente do Paleoceno ao Eoceno.

A primeira fase de bauxitização ocorreu sob um clima mais chuvoso, com intensa hidrólise e lixiviação dos elementos mais móveis. Caulinita sofreu desestabilização e dissolução incongruente nos horizontes afetados, desde a base na ARV, BA, BCBA e BC, atingindo em graus variáveis a LF, com dessilificação de da crosta. Além disso, o aumento da pluviosidade aumentou também a saturação das zonas propícias à remoção de ferro e posterior infiltração por iluviação e bauxitização.

A remoção da sílica ocasionou um enriquecimento relativo em Al, expresso pela formação de gibbsita microcristalina na matriz típica da derivação de soluções coloidais. ,

houve também a precipitação tardia de gibbsita meso a macrocristalina nos vazios, poros e fissuras, a partir de soluções verdadeiras oriundas da remobilização da matriz. A substituição de grãos de quartzo por gibbsita no horizonte bauxítico inferior, se deu pelo aporte lateral de Al sob a forma de complexos (Huang & Keller 1972), gerando enriquecimento absoluto em Al a partir de um processo metassomático a “frio” (Truckenbrodt & Kotschoubey 1995).

A bauxitização foi um processo longo e polifásico, atuante somente nas regiões com características como alta pluviosidade e condições máximas de drenagem. Esta fase ocorreu desde o Eoceno até o início do Oligoceno.

A fase final do primeiro ciclo de bauxitização se caracterizou pela desferrificação dos pisólitos e dessilissificação de caulinita, gerando produtos coloidais ricos em Si, Fe e subordinadamente Al, que resultaram na formação de bauxita porcelanada e assimilação dos pisólitos e fragmentos, ainda em clima e ambiente tropical pantanoso.

Foi observado por Kotschoubey *et al* (2005) diferenças topográficas marcantes na região, separadas por duas superfícies de denudação e erosão, a primeira separa justamente esse primeiro episódio de lateritização, sustentando os platôs mais expressivos da região, e pode ser correlacionada com a superfície Velhas Antiga (Early Velhas surface) de King (1967), enquanto a segunda superfície mais rebaixada na topografia e resultado de um ciclo de lateritização e bauxitização posterior (superfície Velhas Tardia, King (1967)), sofrendo inclusive forte influência da deposição de material coluvial dos platôs mais expressivos da superfície Velhas Antiga.

Essa movimentação envolveu deslocamento de regolito durante a transição de clima tropical para clima mais seco, essa movimentação foi provavelmente provocada ou facilitada por reajustes tectônicos associados à denudação da cobertura vegetal, de amplitude local com capacidade de deslocar o equilíbrio da cobertura residual. A movimentação ocorreu principalmente por fluxos de gravidade com intervalos de suficiente calma que permitiram a sedimentação de matéria argiloso em lagoas ou poças, evidenciadas pelos grandes fragmentos argilosos densos encontrados no capeamento.

O processo resultou na deposição de espesso pacote argiloso-arenoso sobre a cobertura laterítico-bauxítica, cuja evolução lenta, consistiu na dissolução de grãos de quartzo, e formação de gibbsita a partir de caulinita, formando a matriz e recristalizada nos poros e fissuras.

No Oligoceno o clima era frio e uma fase regressiva se instalou, provocando uma erosão significativa na área em apreço. Este processo rompeu o equilíbrio geomorfológico

atuante durante o Paleógeno formando incisões na cobertura residual. O rebaixamento do nível freático provocou o espessamento do perfil saprolítico até o final do Oligoceno.

Em algumas áreas mais comuns no domínio setentrional da Província Bauxitífera ocorreram ainda movimentações do regolito com incorporação da bauxita superior pelos sedimentos regolíticos.

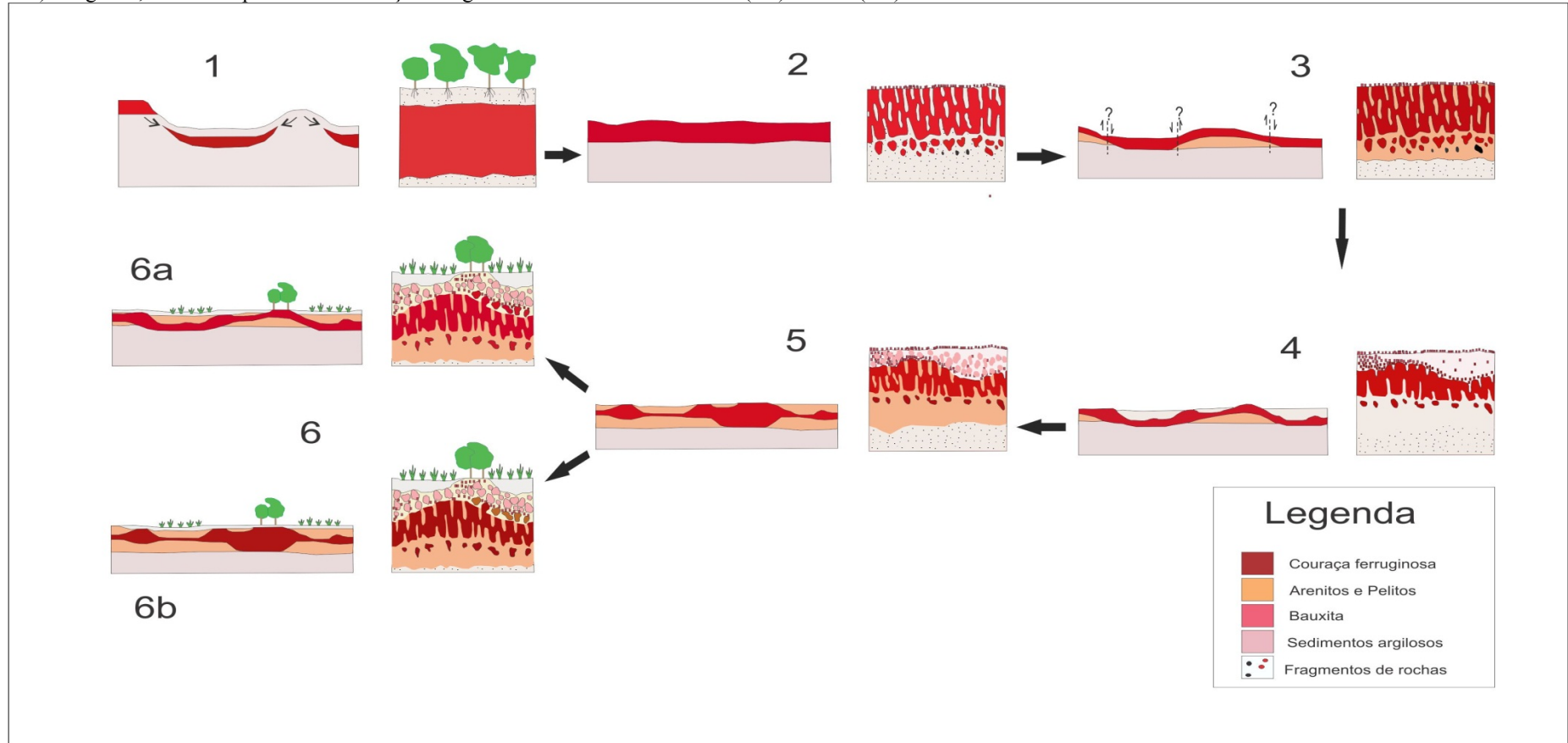
Em seguida ainda ocorreu um segundo ciclo de bauxitização, com ferralitização in situ do conjunto formado pela bauxita superior e regolito recém depositado, ocorreu formação de laterita aluminosa a partir da matriz areno-argilosa. A bauxitização II ocorreu após a fase erosiva, haja vista, encontrarem-se fragmentos tanto da LF quanto da BC no Horizonte Bauxítico Nodular Cristalizado e Nodular. Isso tudo ocorreu antes do ciclo Neógeno, no final do Oligoceno ou início do Mioceno.

Após o segundo ciclo de bauxitização instalou-se sobre a Província um ambiente redutor, talvez pantanoso, onde os efeitos foram a mobilização de Fe e segregação em um padrão esquelético-malhado, que pode alcançar até os primeiros metros da cobertura laterítica (LF).

A última etapa e não menos importante foi a deposição do capeamento, com atuação de deslocamento regolítico em condições climáticas mais secas mas com alta pluviosidade, o que ainda ocasionou formação de gibbsita a partir de caulinita, provavelmente no Mioceno Inferior-Médio.

As etapas de desenvolvimento e evolução dos perfis estudados são mostradas na figura 8.1, com suas respectivas diagramações.

Figura 8.1: Esquema evolutivo da área estudada no setor Vera Cruz da Província Bauxitífera de Paragominas 1- Alteração dos arenitos e pelitos das formações Itapecuru e Ipixuna, com podsolização tropical. Forte influência do lençol freático localizado próximo à superfície, gerando espesso capeamento de alteração e início de desenvolvimento da couraça laterítica (Paleógeno- Cretáceo); 2- Estabelecimento e degradação inicial da couraça ferruginosa, com desenvolvimento de estruturas colunares e fragmentação com formação de pisólitos (Oligoceno-Eoceno); 3- Degradação química e retrabalhamento dos produtos erodidos com posterior deposição de sedimentos argilosos (Eoceno); 4- Primeira fase de bauxitização do conjunto com alta pluviosidade, associada a saturação do solo e remoção de Fe com enriquecimento relativo em Al, além de desferrificação e dessilissificação de caulinita (Eoceno-Oligoceno); 5- Individualização das superfícies de denudação com deslocamento de regolito e deposição do mesmo sobre a cobertura laterítico-bauxítica (Oligoceno); Segundo ciclo de bauxitização, com ferralitização in situ do conjunto de bauxita superior (BNC e BN) e regolito, sendo a espessura da couraça ferruginosa relativamente uniforme (6 a) ou não (6 b).



Fonte: Kotschoubey et al (2005);

10 CONCLUSOES

O presente trabalho caracterizou as Bauxitas referentes aos perfis FD2601 e 2460 e da trincheira TR19, da área Vera Cruz, Província Bauxitífera de Paragominas, enfocando suas características mineralógicas, químicas e petrográficas, bem como suas implicações no desenvolvimento e evolução dos perfis.

A mineralogia dos perfis é bem semelhante em todos os horizontes, sendo composta essencialmente por gibbsita, caulinita, hematita, goethita, anatásio e quartzo.

O horizonte ARV caracteriza-se por representar a porção superior do saprolito, apresentando características semelhantes as observadas nas rochas parentais. É composto essencialmente por caulinita e gibbsita de boa cristalinidade, com hematita e goethita de baixa cristalinidade subordinadas.

O horizonte BA é semelhante ao ARV, com predominância de caulinita e gibbsita de boa cristalinidade, associadas a hematita, goethita e quartzo de baixa cristalinidade, sendo que os dois últimos não foram detectados por difratometria de Raios-X, somente observados em petrografia. Os valores de Al_2O_3 e $Al_2O_3_A$, gira em torno de 3,7%, valores esses interessantes sob o ponto de econômico.

O horizonte BCBA apresenta gibbsita como mineral principal e caulinita em concentrações subordinadas, porém suficientes para elevar os teores de SiO_2_R no FD2601, em torno de 14%, tornando o horizonte ainda inadequado para exploração. Na TR19, os valores de SiO_2_R não ultrapassam 4% e concentrações de Al_2O_3 variando de 52 a 61% e $Al_2O_3_A$ variando de 50 a 55%. Apresenta ainda hematita, goethita e anatásio de baixa cristalinidade, associados, em concentrações inferiores a 5%.

O horizonte BC, que é o horizonte do minério, apresenta como principal mineral a gibbsita de boa cristalinidade em concentrações superiores a 60%, com caulinita associada, além de hematita, goethita e anatásio, todos de baixa cristalinidade. As concentrações de caulinita em geral não ultrapassam 10%, com concentrações de SiO_2_R inferiores a 5%, e Al_2O_3 e $Al_2O_3_A$ com valores de 55 e 61% e 54 e 57,7%, respectivamente, valores esses aceitáveis sob o ponto de vista econômico, possibilitando sua exploração.

O Horizonte LF é praticamente composto por hematita e gibbsita e subordinadamente por goethita e raramente quartzo reliquiar. Os valores de Fe_{total} variam de 40 a 68%, enquanto os valores de Al_2O_3 e $Al_2O_3_A$ variam de 13 a 30% e 9 e 38%, respectivamente.

O Horizonte BNC apresenta gibbsita como mineral principal e caulinita como fase associada, além de hematita e goethita. Os valores de concentração de Al_2O_3 e $Al_2O_3_A$ variam de 41 a 51%, e 35 a 43%, respectivamente, enquanto os valores de Fe_{total} variam de 11 a 15%, e de SiO_2 e SiO_2_R variam de 5,5 a 13% e 6,4 a 10,9%, respectivamente.

O Horizonte BN apresenta concentrações elevadas de Al_2O_3 e $Al_2O_3_A$ em torno de 45 a 54% e 38 a 47%, enquanto a concentração de Fe_{total} varia de 5 a 20% e SiO_2 e SiO_2_R variam de 6 a 11% e 5,5 a 9%, respectivamente.

Os horizontes BNC e BNC ainda não apresentam características geoquímicas aceitáveis para sua exploração nas atuais condições e exigências de mercado, porém se configuram como opções promissoras para o futuro, contando com o crescente aumento na procura por Alumínio e o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes no tratamento de bauxitas com alta sílica reativa.

A petrografia revelou um grande número de texturas e estruturas que representam a complexidade dos perfis e seus respectivos horizontes.

Na zona basal dos perfis representada pelos Horizontes ARV e BA, foi visto a preservação de texturas da rocha geradora dos depósitos bauxíticos da região, representada principalmente pelo acamamento milimétrico, foi visto ainda a presença de grãos de quartzo corroídos e/ou substituídos por caulinita e/ou gibbsita mesocristalina e resquícios de feldspatos já bastante caulinizados e bauxitizados.

Na zona intermediária representada pelos Horizontes BCBA e BC, foram vistas texturas diversas, com porções heterogêneas dentro do próprio horizonte.

O Horizonte BCBA apresenta geralmente estrutura colunar maciça, com textura colomorfa e subordinadamente textura porosa/cavernosa. Apresenta matriz rica em gibbsita com caulinita e oxi-hidróxidos de Ferro associados.

O Horizonte BC apresenta duas porções bem distintas, na base apresenta estrutura colunar maciça com poros associados e geralmente preenchidos por gibbsita mesocristalina, pobre em caulinita e oxi-hidróxidos de Ferro.

Na medida que se aproxima do Horizonte LF, a porção superior vai tornando-se mais nodular, pisolítica e brechóide, com pisólitos ferruginosos associados e por vezes abundantes, além de fragmentos bauxíticos disformes ricos em gibbsita dispersos. A porção superior possui níveis de concentração de ferro semelhantes aos encontrados no Horizonte LF, sendo esse conteúdo de Ferro um fator contaminante e logo prejudicial a exploração, entretanto, este Horizonte se configura como a zona mineralizada, com características geoquímicas que lhe garantem condições econômicas para exploração.

O Horizonte LF é composto essencialmente por hematita e gibbsita com cerca de 90% da concentração, além de concentrações subordinadas de caulinita e goethita.

O Horizonte LF representa a interface que separa as duas porções bauxíticas dos perfis, por isso, ha grande interação entre os três horizontes, apresentando feições de substituição, principalmente de quartzo reliquiar por gibbsita mesocristalina, de imersão de porções heterogêneas gerando produtos disformes e fluidais ricos em hematita e gibbsita, além de formação de pisólitos e pseudopisólitos ferruginosos e bauxíticos.

O Horizonte BNC apresenta características texturais semelhantes aos Horizontes bauxíticos localizados na base dos perfis, com textura maciça, associadas a pisólitos ferruginos e pseudopisólitos bauxíticos, dispostos aleatoriamente em matriz essencialmente cauníto-gibbsítica. Possui porções essencialmente ferruginosas associadas a pisólitos, concentradas principalmente na interface com o Horizonte LF a que se sobrepõe.

No Horizonte BNC forem observadas feições de ressilificação na gibbsita gerando caulinita de baixa cristalinidade, bem como geração de gibbsita a partir do intemperismo progressivo em feldspatos e caulinita.

O Horizonte BN é composto por pisólitos ferruginos e subordinadamente bauxíticos e matriz caulínica fina, associada a gibbsita e oxi-hidróxidos de ferro resultantes da alteração dos próprios pisólitos.

Com base nos dados apresentados e utilizando a bibliografia já consagrada, principalmente a apresentada por Costa (1984) e Kotschoubey et al (2005a e b), pode-se atribuir um modelo genético e evolutivo polifásico e complexo, referente a Área Vera Cruz, da Província Bauxitífera de Paragominas.

A primeira fase, ocorrida no Paleoceno ou final do Cretáceo, correspondeu à alteração dos arenitos e pelitos das formações Itapecuru e Ipixuna e podsolização do conjunto, promovendo dissipação parcial das estruturas sedimentares e desenvolvimento de espesso manto de alteração.

Concomitante a alteração inicial, ocorre a formação da couraça ferruginosa já em clima quente e úmido, a partir da ferruginização dos sedimentos e alteração por impregnação de soluções ricas em oxi-hidróxidos de ferro e substituição de caulinita por hematita (AMBROSI *et al.* 1986, NAHON D. 1991, TARDY Y. 1993 *In* KOTSCHOUBEY *et al.* (2005b).

A partir daí ocorreu uma fase de degradação da couraça ferruginosa, possivelmente pelas mudanças climáticas para um clima ainda mais úmido, essa fase de degradação iniciou-

se com individualização de estruturas colunares e seguiu-se com a fragmentação mais acentuada e consequente formação de pisólitos no topo.

A primeira fase de bauxitização ocorreu sob um clima chuvoso, com intensa hidrólise e lixiviação dos elementos mais móveis. Caulinita sofreu desestabilização e dissolução incongruente nos horizontes afetados, desde a base na ARV, BA, BCBA e BC, atingindo em graus variáveis a LF, com dessilissificação da crosta.

A bauxitização foi um processo longo e polifásico, atuante somente nas regiões com características como alta pluviosidade e condições máximas de drenagem. Esta fase ocorreu desde o Eoceno até o início do Oligoceno.

A fase final do primeiro ciclo de bauxitização se caracterizou pela desferrificação dos pisólitos e dessilissificação de caulinita, gerando produtos coloidais ricos em Si, Fe e subordinadamente Al, que resultaram na formação de bauxita porcelanada e assimilação dos pisólitos e fragmentos, ainda em clima e ambiente tropical pantanoso.

Em seguida ainda ocorreu um segundo ciclo de bauxitização, com ferralitização in situ do conjunto formado pela bauxita superior e regolito recém-depositado, ocorreu formação de laterita aluminosa a partir da matriz areno-argilosa. A bauxitização II ocorreu após a fase erosiva, haja vista, encontrarem-se fragmentos tanto da LF quanto da BC no Horizonte Bauxítico Nodular Cristalizado e Nodular. Isso tudo ocorreu antes do ciclo Neógeno, no final do Oligoceno ou início do Mioceno.

A última etapa e não menos importante foi a deposição do capeamento, com atuação de deslocamento regolítico em condições climáticas mais secas, mas com alta pluviosidade, o que ainda ocasionou formação de gibbsita a partir de caulinita, provavelmente no Mioceno Inferior-Médio.

REFERÊNCIAS

- ALEVA G. J. J. **Bauxitization and tropical landscape evolution**. *Travaux ISCOBA*, 1989. v.19, p. 19-29.
- ALEVA, G.J.J. Essential differences between the bauxitic deposits along the southern and northern edges of the Guiana Shield, South America. **Econ. Geol**, 76:1142-1152. 1981.
- AMBROSI J. P., NAHON D., HERBILLON A. J. The epigenetic replacement(e) of kaolinite by hematite in laterite - petrographic evidence and the mechanisms involved. **Geoderma**, v. 37, n.4, p. 283-294. 1986.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO. (1996- 2008). São Paulo: ABAL, 2008. 29p.
- ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO. (1996 – 2002). Brasília,DF: DNPM, 2002. 412p.
- ASSAD R. Depósitos de bauxita da região de Paragominas, Pará. In: CONG. BRAS. GEOL., 27, 1973, Aracaju. **Resumo das Comunicações**, : Aracaju: SBG , 1973. v. 1, p. 24 -25.
- ASSAD R. Depósitos de bauxita na Amazônia. In: CONG. BRAS. GEOL., 30, 1978, Recife. **Anais..** Recife: SBG, 1978. v.6, p.2511-2519.
- BARDOSSY, G.; ALEVA, J.J. Lateritic bauxites. Amsterdam: Elsevier, 1990. Não paginado.
- BARDOSSY G.; ALEVA G.J.J. **The Amazon basin**. *Travaux ICSOBA*, 1989. v. 19, p. 455-458.
- BOULANGÉ, B.; CARVALHO, A. The Bauxites of Porto Trombetas. In: CARVALHO A. et al. **Brazilian bauxites**. São Paulo- Paris, 1997. p. 55-72.
- BUCHNER W., et al. Industrial Inorganic Chemistry. New York: **VCH Publishers**, 1989. p. 247-255.
- CALAF, J.M.C. **Evolução geológica no Cenozóico da região entre Açailândia (MA) e Ligação (PA)**. 2000. 112 f. Dissertação (mestrado) - UFPa, Centro de Geociências, Belém, 2000.
- COSTA M.L. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. **Rev. Brás. Geoc.**, v. 21, p.146-160. 1991.
- COSTA, M.L. Lateritos e lateritização. In: CONGR. BRÁS. GEOL.,36. Natal, 1990. **Anais...** Natal: SBG, 1990a. v. 1, p. 404-421.
- COSTA M. L. A dinâmica de formação de lateritas: o exemplo do NE do Para e NW do Maranhão. In: CONG. BRAS. GEOL., 33, 1984, Rio de Janeiro. **Anais**, Rio de Janeiro: SBG, 1984. v.10, p. 4838-4849.
- DENNEN W.D.; NORTON H. A. Geology and geochemistry of bauxite deposits in the lower Amazon basin. **Econ. Geol.**, v. 72, p. 82-89. 1977.
- GÓES A.M. **A Formação Poti (carbonífero inferior) da bacia do Parnaíba**. 1995. 171f Tese (doutorado) - Inst. Geociências, USP, 1995.

GÓES A.M. **Estudo sedimentológico dos sedimentos Barreiras, Ipixuna e Itapecurú, no Nordeste do Pará e Noroeste do Maranhão.** 1981. 55f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 1981.

GROTH P. **Tabellarische Ubersicht der mineralien**, Vieweg und Lohn Verlag, Braunschweig, p. 48, 1898.

GRUBB P.L.C. Génesis of bauxite deposits in the lower Amazon basin and Guaiarias coastal plain. **Econ. Geol.**, v. 74, p. 735-750, 1979.

HORBE A.M.C. & COSTA M.L. 1999. Geochemical evolution of a lateritic Sn-Zr-Th-Nb-Y-REE-bearing ore body derived from apogranite: the case of Pitinga, Amazonas – Brasil. **Jour. Geochem. Explor.**, 66:339-351.

HORBE A.M.C. & COSTA M.L. Solos gerados a partir do intemperismo de crostas lateríticas sílico-ferruginosas. **Acta Amazônica**, v. 27, p. 241-256, 1997.

KING L.C. 1967. **The morphology of the Earth.** Oliver & Boyd, Edinburgh (2 nd ed.), 726 p.

KOTSCHOUBEY, B. & LEMOS, V.P. 1985. considerações sobre a origem e a gênese das bauxitas da Serra dos Carajás. In: SIMP. GEOL. DA AMAZÔNIA, 2. Belém, 1985. **Anais...** Belém, SBG/NNO. v. 3. p. 48-61.

KOTSCHOUBEY, B.; MENEZES, L.A.A.; TRUCKENBRODT, W. 1984. Nature et evolution des bauxites du secteur de Jabuti-Ipixuna (distric de Paragominas, Etat du Pará, Brasil). In: **CONGR. NAT. SOC. SAV**, 109. Dijon, 1984. Sciences... Dijon. fase. I, p. 335-345.

KOTSCHOUBEY B., TRUCKENBRODT W. Evolução poligenética das bauxitas do distrito de Paragominas-Açailândia (Estados do Pará e Maranhão). **Rev. Bras. Geoc.**, v.11, p. 193-202. 1981.

KOTSCHOUBEY B. & TRUCKENBRODT W. 1993. Sedimentary-lateritic associations in the northwestern part of the Grajaú basin, northern Brazil. In: **Latinamerican Congr. of Sedim.**, 3, **Abstracts**, p. 50(.

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., CALAF J. M. C. 2005. Evolução geológica da porção meridional da Provincia Bauxitífera de Paragominas durante o Neogeno\ Pleistoceno (NW da Bacia do Grajau, NE do Para e extremo oeste do Maranhao). **Rev. Bras. Geociências**, 35 (2) : 263-272.

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.

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.

LUCAS Y. 1989. **Systèmes pédologiques en Amazonie brésilienne. Equilibres, déséquilibres et transformations**. Tese de Doutorado, Université de Poitiers, France, 157 p.

LUCAS, Y.; KOBILSEK, B.; CHAUVEL, A. 1989. structure, génesis, and present evolution of amazonian bauxites developed on sediments. in: **intern. cong. icsoba 6**, poços de caldas, brazil, 1989. proceedings... travaux, icsoba. 22:81-94.

MESNER, J. C.; WOOLDRIDGE, L. C. Estratigrafia das bacias Paleozóica e Cretácea do Maranhão. **Boletim Técnico da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, p. 137-164, abr./jun.,1964.

NAHON, D., 1991. **Introduction to the Petrology of Soils and Chemical Weathering**. John Wiley and Sons, New York. 313 pp.

PETRI S., FÚLFARO V. J. **Geologia do Brasil, Fanerozóico**. São Paulo. EDUSP, p. 631, 1983.

RELATÓRIO ANUAL. . (1996 – 2008). Mineração Rio do Norte. Rio de Janeiro, p. 44, 2008

RELATÓRIO ANUAL.(2008) Companhia Brasileira de Alumínio. São Paulo, p. 35, 2008.

ROSSETTI D.F. 2001. **Late Cenozoic sedimentary evolution in northeastern Pará, Brazil**, within the context of sea level changes. *J. South Am. Earth Sci.*, 14:77-89.

SANTOS JR. A. E., ROSSETTI D.F. Paleoambiente e estratigrafia da Formação Ipixuna, área do rio Capim, leste da sub-bacia de Cametá. **Rev. Bras. Geoc.**, QQ: 313-324., 2003.

ROSSETTI D. F. GÓES A. M. TRUCKENBRODT W. 2001. **O Cretáceo na Bacia de São Luiz-Grajaú**, Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, PA: p. 119-150.

SANTOS JR. A. E. ROSSETTI D. F. Paleoambiente e estratigrafia da Formação Ipixuna, área do Rio Capim, leste da sub-bacia de Cametá. **Rev. Brasileira de Geociências**, 33: 313-324.

SMITH P.. The processing of high silica bauxites – Review of existing and potencial process, **Elsevier journal**, hidrometallurgy 98, Perth (Austrália), PP: 162-176. 2009.

SOMBROEK, W.G. **Amazon soils. A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region**. Wageningen, Centre for Agri. 1966. 292 p. (Publ. Document).

TARDY, Y. **Pétrologie des latentes et des sois tropicaux**. Masson, Paris, 1993. 459 p.

TOWSE, D. ; VINSON, P.E. **Lateritas aluminosas do Baixo Amazonas**. Eng. Miner. Metalurgia, 30 (177): 133- 135, 1959.

TRUCKENBRODT, W. 1982. Alguns aspectos microfaciológicos das bauxitas na parte leste da região Amazônica. In: CONGR. BRÁS. GEOL., 32. Salvador, 1982. **Anais...** Salvador, SBG. v. 2, p. 695-701.

TRUCKENBRODT, W. KOTSCHOUBEY, B. HIERONYMUS, B. 1995. **Aluminization: an important process in the evolution of Amazonian bauxites**. *Travaux Icsoba, Zagreb*, v.22, n.1, p. 27-42.

TRUCKENBRODT W. & KOTSCHOUBEY B. 1994. Aspectos petrográficos e geoquímicos de bauxitas na Amazônia oriental. In: SBG/Norte, Simp. Geol. Amaz., 4, **Anais**, p. 289-290.

TRUCKENBRODT W., KOTSCHOUBEY B. Cobertura terciária das bauxitas amazônicas. **Rev. Brás. Geoc.**, v. 11, p. 203-208, 1981.

TRUCKENBRODT W., KOTSCHOUBEY B., GÓES A. M. Considerações a respeito da idade das bauxitas na parte leste da região Amazônica. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, I, Belém, **Anais**, SBG, v. 1, p. 201-209, 1982.

TRUCKENBRODT W., NASCIMENTO M.S., GÓES A.M. Distribuição de minerais pesados em arenitos de formações fanerozóicas no nordeste do Pará e noroeste do Maranhão. In: **Contribuições à Geologia da Amazônia** (no prelo), 2005.

TRUCKENBRODT B., KOTSCHOUBEY, B.; SCHELLMANN, W. Composition and origin of the claycover on North Brazilian laterites. **Geologische Rundschau**, v.80, n.3, p.591-610, 1991.

WOLF, F.A.M. 1972. **Bauxita na Amazônia**. Belém, DNPM. 46 p.

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

ZIRKEL F. Elemente der mineralogy, W. **Engelnomm Verlag**, Leipzig. P. 501, 1907.