

Mestrado Profissional
Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais

AUGUSTO CÉLIO COSTA LOBATO

**A COBERTURA LATERÍTICA NO ENTORNO DA LAGOA DO
AMEMDOIM, SERRA SUL DOS CARAJÁS: IMPLICAÇÕES SOBRE A
ORIGEM PRIMÁRIA E RECONSIDERAÇÃO CONCEITUAL.**

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado Profissional em Uso Sustentável de
Recursos Naturais em Regiões Tropicais do
Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento
Sustentável (ITV DS).

Orientador: Prafulla Kumar Sahoo, Dr.
Coorientador: Clovis Wagner Maurity, MsC.

Belém– PA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

L796 Lobato, Augusto Célio Costa

A cobertura laterítica no entorno da Lagoa do Amandóim, Serra Sul dos Carajás: implicações sobre a origem primária e reconsideração conceitual. / Augusto Célio Costa Lobato. - Belém, ITV, 2017.
89 f. il.

1. Laterítica - Depósito. 2. Laterítica - Estudo. 3. Amandóim, Lagoa do. - Carajás, Serra dos (PA). I. Sahoo, Prafulla Kumar. II. Maurity, Clovis Wagner. III. Título.

CDD 23. ed. 552.098115

Bibliotecário(a) responsável: Nisa Gonçalves / CRB 2 – 525

AUGUSTO CÉLIO COSTA LOBATO

**ESTUDO DA COBERTURA LATERÍTICA DA BACIA DE
DRENAGEM DA LAGOA DO AMENDOIM, SERRA SUL
DOS CARAJÁS, PARÁ.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais e Desenvolvimento Sustentável do Programa de Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais do Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV).

Data da aprovação:

Banca examinadora:

Dr. Prafulla Kumar Sahoo
Orientador - Instituição (ITV)

Dr. Marcondes Lima da Costa
Membro externo – Instituto de Geociências da UFPA (IG/UFPA)

Dr. AFONSO CÉSAR RODRIGUES NOGUEIRA
Membro externo - Instituto de Geociências da UFPA (IG/UFPA)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho às pessoas mais presentes em minha vida:

Minha mãe, pelo exemplo de vida e dedicação.

Meu pai, por tudo que me ensinou.

Meu irmão, melhor amigo e compadre, Dr. Renato Lobato, pelo incentivo direto ou indireto e pelo modelo a ser seguido.

Meu grande amor, minha esposa Enfermeira Rosilene Lobato, por estar ao meu lado nos melhores e piores momentos de minha vida.

Aos dois maiores PRESENTES que DEUS me deu, Byanca e Lacas Lobato, por serem os filhos mais maravilhosos do mundo.

AMO MUITO VOCÊS!

AGRADECIMENTOS

Inicio meus agradecimentos por DEUS, já que Ele colocou pessoas tão especiais a meu lado, sem as quais certamente não teria concluído essa tarefa!

A meus pais, Célio e Roza, meu infinito agradecimento. Sempre acreditaram em minha capacidade e me incentivaram na busca de meus sonhos. Obrigado pelo amor incondicional!

A minha querida esposa, Rosilene Lobato a quem tanto amo, por ser tão importante na minha vida. Sempre a meu lado, me fazendo acreditar que posso mais que imagino. Devido a seu companheirismo, amizade, paciência, compreensão, apoio, alegria e amor, este trabalho pôde ser concretizado. Obrigado por ter feito do meu sonho o nosso sonho!

Aos meus amados filhos, que sempre estiveram ao meu lado e me incentivam todos os dias a ser uma pessoa melhor.

A meu irmão, Dr. Renato Lobato, pelas palavras de incentivo quando precisei. Obrigado pela confiança!

Ao Dr. Prafulla Sahoo, pela orientação e pela confiança em mim.

Ao Geólogo e Pesquisador Adjunto do ITV Clóvis Maurity, por ser meu co-orientador, por sua amizade, pelo aprendizado. Sou muito grato a você.

Ao meu mestre, o geólogo Dr. Basile Kotschoubey pelos ensinamentos de geologia e de vida.

Aos geólogos pesquisadores do ITV, obrigado por disporem seus tempos sempre que precisei.

A meus amigos do mestrado, pelos momentos divididos juntos. Foi bom poder contar com vocês!

Ao Projeto “Processos de Formação das Lateritas do Platô S11D da Serra dos Carajás” por me proporcionar a oportunidade de desenvolver essa pesquisa.

*O homem que diz dou
Não dá!
Porque quem dá mesmo
Não diz!
O homem que diz vou
Não vai!
Porque quando foi
Já não quis!
O homem que diz sou
Não é!
Porque quem é mesmo é
Não sou!
O homem que diz tou
Não tá
Porque ninguém tá
Quando quer ...*

*Música: Canto de Ossanha
Baden Powell / Vinícius de Moraes*

RESUMO

Em regiões de clima tropical é muito comum a existência de depósitos lateríticos formados a partir da intensa ação do intemperismo químico e acúmulos relativos e absolutos de constituintes resistentes a essa ação intempérica. Na Província Mineral de Carajás, em especial nas Serras Norte e Sul, ocorrem camadas lateríticas formadas a partir desse espesso perfil intempérico. Nesse contexto, as crostas lateríticas que recobrem grande parte dos platôs, em especial do Platô S11 que despertam grande interesse econômico em função da implantação da mina S11D, necessitam de maiores estudos para a compreensão dos processos supergênico responsáveis pela sua formação. Mais especificamente no entorno da Lagoa do Amendoim, onde foi desenvolvida essa pesquisa. Até o momento, muitos trabalhos foram publicados a respeito da composição química das crostas lateríticas, porém ainda não se tem um consenso de sua proveniência, pois em muitas áreas os aspectos texturais, estruturais e mineralógicos demonstram que esse capeamento constituído por uma crosta laterítica endurecida e ferruginosa não está somente associado ao minério de ferro. Esse estudo mostrou que a crosta laterítica da Serra dos Carajás apresenta estruturas e texturas características de depósitos sedimentares do tipo leques fluviais, cujos fragmentos são provenientes do desmantelamento de outros perfis lateríticos, o que caracteriza uma cobertura superficial de crosta laterítica detrítica endurecida. Com base no mapeamento da área do entorno da Lagoa do Amendoim, foram selecionados cinco perfis para estudo detalhado das estruturas, texturas e composição mineralógica associada. Esses estudos tiveram como objetivo definir fácies sedimentares para compreensão do processo deposicional do material constituinte, assim como o evento de lateritização superimposto.

Palavras-chave: Laterita. Carajás. Duricosta. Leques Aluviais

ABSTRACT

In tropical regions, the occurrence of laterite deposits is very common which resulted from the intense action of chemical weathering and relative and absolute buildups of constituents that are resistant to this weathering. In the Carajás Mineral Province, in particular in North and South, lateritic layers occur from this thick weathering profile. In this context, the lateritic crusts covering most of the plateaus, in particular the lateritic crusts S11 plateau, which arouse great interest depending on the economic mine S11D deployment, require larger studies to understand the supergenic process responsible for laterite formation. More specifically, in the surroundings of the lagoon from Amendoim Lake where this research was developed. So far, many works have been published about the chemical composition of lateritic crusts, but still don't have a consensus of the provenance, because in many areas the textural, mineralogical and structural aspects demonstrate that a caps laterite hardened crust and ferruginous is not only associated with the iron ore. This study showed that the duricrust of Serra dos Carajás presents structures and textures of sedimentary deposits characteristic of type river fans, whose fragments are obtained from the dismantling of other lateritic profiles, which characterizes a superficial coverage of detrital lateritic hardened crust. Based on the mapping of the area around the Amendoim Lake were five profiles for detailed study of the structures, textures and mineralogical composition. These studies aimed to characterize sedimentary facies for understanding of depositional process of the constituent material, as well as the event of overprinted laterization.

Keywords: Laterite. Carajás. Duricrust. Alluvial fans

LISTA DE FIGURAS

Figure 1: Mapa de localização da área de estudo.....	13
Figure 2: Distribuição global do fenômeno de laterização. Fonte BARDOSSY e ALEVA (1990).	17
Figure 3: Distribuição dos principais processos de intemperismo da Terra. TEIXEIRA et al. (2009).	18
Figure 4: Diagrama triangular de SCHELLMANN (1982), para classificação de lateritas. Fonte: FERRARI (1996).	19
Figure 5: Perfil laterítico ideal em clima tropical úmido-seco (Adaptado THOMAS 1974; OLLIER e SHETH, 2008).	21
Figure 6: Perfil esquemático de alteração das rochas em clima tropical. Modificado de MELFI (1994).	21
Figure 7; Distribuição geográfica das principais regiões e corpos isolados lateríticos da Amazônia. Adaptado de COSTA (1991).	25
Figure 8: Estruturação geral dos perfis lateríticos completos na Amazônia, segundo Costa (1991), distinguindo-se perfis imaturos e maduros, confrontados entre si em termos de horizontes. Modificado de Costa (2007).	26
Figure 9: Perfis lateríticos maduros (abaixo) e imaturos, (acima) na Amazônia e suas principais coberturas, segundo Costa (1991). Modificado de Costa (2007).	28
Figure 10: Organização micro morfológica da parte superior do perfil laterítico. Modificado de FREYSSINET (1993). In: COSTA (2007).	29
Figure 11; Delimitação da Bacia Hidrográfica do Itacaiúnas (adaptado de SOUZA-FILHO, 2015).	31
Figure 12: Mapa geológico da área estudada na região de Carajás, Serra Sul (modificado de Vasques et al 2008b).	34
Figure 13: : Mapa de localização da Lagoa do Amendoim, Serra Sul de Carajás, contendo a localização das Seções Geológicas descritas na área de estudo.	39
Figure 14: Descrição da Seção Geológica 2 na margem da Lagoa do Amendoim, sendo abordados os parâmetros texturas, estruturas e fácies sedimentares.	40
Figure 15: Descrição e representação dos diferentes Tipos Filológicos descritos na área estudada, baseados na proposta de MIAL (1979; 1996).	42
Figure 16: Seção Geológica 1 mostrando os diferentes horizontes e tipos faciográficos Bp, Bpm e Bem da crosta laterítica do entorno da Lagoa do Amendoim.	43
Figure 17: Croqui esquemático da Seção 1. São descritos os diferentes tipos de materiais que compõem a crosta laterítica da área e suas respectivas granulometrias.	44
Figure 18: Fragmentos placóides da Fácies Bp com tamanho variando de 2 a 5 centímetros e imbricados entre si sem a presença de matriz.	45

Figure 19: Relação entre fragmentos de hematita/magnetita com pouca matriz muito fina. Observar a formação de pátinas nas bordas dos fragmentos.	46
Figure 20: Lâmina delgada de uma porção da crosta laterítica da Seção Geológica 1, representando a fácies Cp. Notar fragmentos placóides que estão tangendo-se e outros separados por matriz fina microscópica.	47
Figure 21: Informações de fragmentos placóides de hematita. Na porção superior da esquerda para direita fotomicroscopia e imagem de MEV, porção inferior da esquerda para direita análise de EDS de um fragmento placóides e de um cimento goethítico de segunda geração.	48
Figure 22: Difrátograma de uma amostra representativa da Seção Geológica 1 revelando apenas picos de hematita e goethita.	49
Figure 23: Presença de biofilmes marcando diferentes sets.	50
Figure 24: Esferulitos envoltos em linhas de contorno descontínuas. Em A escala macroscópica, em B escala petrográfica.	50
Figure 25: Esferulito com núcleo de hematita/magnetita e borda formada por camadas muito finas de goethita formando pátinas.	51
Figure 26: Esferulito com núcleo de hematita/magnetita e borda formada por camadas muito finas de goethita formando pátinas.	52
Figure 27: Vários fragmentos de pátinas imersos na matriz.	53
Figure 28: Prancha com imagens da matriz entre os esferulitos. Na porção superior da esquerda para a direita fotomicroscopia panorâmica, em detalhe e imagem de MEV. Na porção inferior duas análises de EDS em porções das pátinas.	53
Figure 29: Linhas marcando contatos entre diferentes texturas da fácies 2, em (A) escala macroscópica, (B) escala petrográfica.	54
Figure 30: Prancha mostrando o córtex que separa duas camadas com granulações distintas. Na porção superior da esquerda para a direita fotomicroscopia e imagem de MEV. Na porção inferior duas análises de EDS.	55
Figure 31: Fotomicroscopia, MEV e EDS de esferulito contendo núcleo formado por fragmento de hematita/magnetita e na borda anéis concêntricos de goethita.	56
Figure 32: Fotomicrografia de esferulito com núcleo formado por fragmento hematítico/magnetítico envolto em matriz argilosa.	57
Figure 33: Croqui esquemático da Seção Geológica 2.	58
Figure 34: Matriz fina envolvendo os fragmentos de hematita/magnetita de coloração alternando de marrom a marrom escuro.	59
Figure 35: Fragmento formado a partir de fragmentos menores de hematita/magnetita e rocha vulcânica imersos em argila.	59
Figure 36: Prancha contendo imagens da Fácies 1 da Seção Geológica 2. Na porção superior à esquerda fotomicrografia, a direita imagem de MEV, na porção inferior a esquerda análise EDS da matriz ferruginosa e na direita do fragmento hematítico/magnetita.	60

Figure 37: Difratoograma de raios x da Fácies 1 da Seção Geológica 2, onde é possível observar picos de hematita, em sua maioria, e goethita.	60
Figure 38: Contato revelando megamarcas onduladas. Observar a relação entre camadas de material grosso, médio e fino. Fonte: Clóvis Maurity.	61
Figure 39: Fotomicrografia de uma porção da Fácies 3 da Seção Geológica 2. Notar a diferenciação zonada da matriz.	62
Figure 40: Micrografia mostrando (A) grão imerso na matriz formado por agregado de grãos menores de laterita envoltos por argila, e em (B) o mesmo grão em detalhe.	63
Figure 41: Prancha contendo informações da crosta laterítica Seção Geológica 3. Na porção superior à esquerda fotomicrografia, a direita imagem de MEV, na porção inferior análise EDS de um fragmento ferruginoso envolto por matriz argilosa.	64
Figure 42: : Difratoograma de raios x da Seção Geológica 3, onde é possível observar apenas picos de hematita e goethita.	65
Figure 43: Seção Geológica 4 revelando planos de deslizamento e diferentes atitudes dos "sets" de sedimentação. Em (A) imagem real, em (B) imagem interpretada.	66
Figure 44: Fotomicrografia de uma amostra da Seção Geológica 4, em (A) relação entre fragmentos e a matriz, em (B) detalhe dos fragmentos e em (C) Grão formado por grãos menores de crosta laterítica.	67
Figure 45: Grão subarredondados a subangulosos formado por fragmentos milimétricos aderidos pela argila que estão dispersos na matriz e encapsulados por pátina de coloração variando do marrom ao castanho.	67
Figure 46: Difratoograma da Seção Geológica 4. Nela podemos observar apenas picos de hematita e algum pico de goethita.	68
Figure 47: Prancha com imagens de micrografias da crosta laterítica Seção Geológica 4. Na porção superior à esquerda fotomicrografia, a direita imagem de MEV, na porção inferior análise EDS de um fragmento ferruginoso envolto por pátina goethítica.	68
Figure 48: Perfil esquemático da Seção Geológica 5. Nessa Seção foram descritas as fácies Bp, fragmentos placóides sem matriz; Cem, fragmentos placóides milimétricos associados a pisólitos e Bpm, pisólitos imersos em matriz fina.	69
Figure 49: Difratoograma da Seção Geológica 5, onde observamos apenas picos de hematita e goethita.	70
Figure 50: Prancha contendo informações da crosta laterítica da Seção Geológica 5. Na porção superior à esquerda fotomicrografia, a direita imagem de MEV, na porção inferior análises EDS de um fragmento ferruginoso envolto por pátina goethítica.	70

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

DS – Desenvolvimento Sustentável

EDS - energy dispersive spectroscopy

DRX – DIFRAÇÃO DE RAIOS X

IG – Instituto de Geociências

ITV – Instituto Tecnológico Vale

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura

UFPA – Universidade Federal do Pará

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVO GERAL	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO E FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICA.....	14
2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS PERFIS LATERÍTICOS EM ZONA INTERTROPICAL.....	20
2.2 PROCESSO DE LATERIZAÇÃO NA AMAZÔNIA	22
2.2.1 Lateritos Maduros	25
2.2.2 Mineralogia e Textura dos Horizontes Lateríticos.....	28
3 ASPECTOS FISIOGRAFICOS	29
3.1 RELEVO.....	29
3.2 HIDROGRAFIA	30
3.3 CLIMA	30
3.4 VEGETAÇÃO	31
3.5 SOLO	32
4 GEOLOGIA REGIONAL	32
5 MATERIAIS E MÉTODOS	37
5.1 TRABALHOS DE CAMPO	38
40	
5.2 ESTUDOS MINERALÓGICOS.....	40
5.3 ESTUDOS PETROGRÁFICOS.....	40
6 RESULTADOS	42
6.1 SEÇÃO GEOLÓGICA 1	43
6.2 SEÇÃO GEOLÓGICA 2	57
6.3 SEÇÃO GEOLÓGICA 3	62
6.4 SEÇÃO GEOLÓGICA 4	65
6.5 SEÇÃO GEOLÓGICA 5	69
7 DISCUSSÃO	71
8 CONCLUSÃO.....	72
9 BIBLIOGRAFIA	73

1 INTRODUÇÃO

A Serra dos Carajás, conhecida por abrigar a maior província mineral da Terra, é um dos poucos testemunhos de evolução da paisagem ocorrida durante o Meso-Cenozóico na Amazônia, uma vez que apresenta um dos terrenos de aplainamentos mais antigos do planeta. Essa região foi propícia a formação de crostas lateríticas, conhecidas popularmente como “canga”. Essa unidade se deu em decorrência de sua formação geográfica (zona intertropical) associada ao clima quente-úmido (GONÇALVES e SOUSA, 2011). Tal formação necessita de maiores entendimentos quanto a sua evolução, pois é tida como uma cobertura das superfícies dos platôs que abrigam os depósitos de minério de ferro na região de Carajás. Entretanto, os estudos vêm demonstrando que a crosta laterítica apresenta uma ampla dispersão na área dos platôs e que não se encontra restrita às formações ferríferas bandadas geradoras do minério de ferro.

Outros fatores envolvendo processos geomorfológicos de caráter morfoestrutural e morfoclimático influenciaram os processos lateríticos, a degradação dos perfis e a evolução da paisagem.

Neste contexto, os estudos que estão sendo desenvolvidos pretendem demonstrar que a origem primária da crosta laterítica da área estudada (Figura 1) não está atrelada ao enriquecimento supergênico, mas também a processos sedimentares.

1.1 OBJETIVO GERAL

O Objetivo Geral desse estudo é caracterizar os processos de formação da cobertura laterítica da superfície do Platô S11D, sob o ponto de vista sedimentológico. A área do entorno da Lagoa do Amendoim foi selecionada para o desenvolvimento dessa pesquisa.

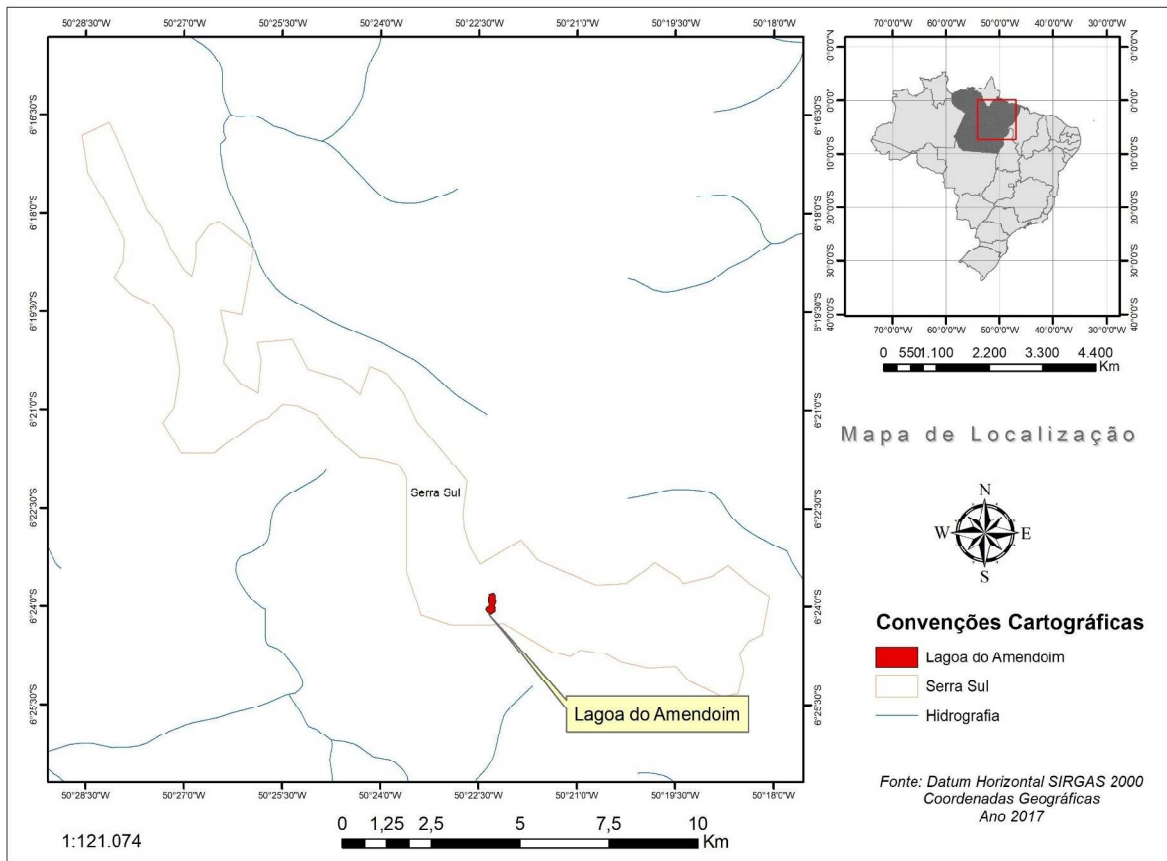


Figure 1: Mapa de localização da área de estudo

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos temos:

- Caracterizar através de observações de campo e estudos petrográficos o ambiente deposicional do material constituinte da crosta laterítica;
- Caracterizar as fácies sedimentares da crosta laterítica, bem como suas texturas e estruturas.
- Determinar a proveniência dos materiais que compõem a crosta laterítica detrítica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO E FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICA

Várias teorias têm sido propostas para explicar a origem e formação de lateritas. Historicamente o primeiro registro científico de ocorrência de laterita é atribuído a Buchanan em 1807, que definiu como material mole o suficiente para ser cortado em blocos, mas que endurece ao ser exposto ao ambiente, produzindo material para construção. Em outra ocasião, esse mesmo autor encontrou um material que era endurecido no solo, mesmo sem exposição ao ar, denominando-o *brickstone* (rocha tijolo).

A cor marrom avermelhada, como tijolo com a concentração de óxidos de Fe-Al, fascinou muitos pesquisadores das geociências sobre a evolução e ocorrências variáveis em diferentes formações geológicas. Os tipos de clima tropicais à subtropicais secos-úmidos são fatores importantes na formação das crostas ferruginosas, amplamente conhecidas como plintitos (QUAST, 2017).

WALTHER (1916) acreditando que a cor vermelha das lateritas era um critério mais consistente que a dureza, sugerindo assim que o termo fosse usado para todos os materiais avermelhados. Este critério foi adotado por pedólogos, e o resultado é que, no início do século XX, os pesquisadores referiam-se a qualquer material vermelho como laterita. O termo laterita foi aplicado a uma

variedade de materiais com características diversificadas que não permitia um termo descritivo preciso (GHOSH, 2015). Nomenclatura, classificação, distribuição global, processo de desenvolvimento dos horizontes foram estudados por muitos autores como COSTA (1991 e 1997); TARDY (1992); WADIA (1999) entre outros.

Segundo TARDY (1992), a falta de um consenso na definição de lateritas perdurou por mais de um século. TARDY (1993) propõe que “O termo laterita deve ser utilizado como *latu senso* para se referir a todos os materiais endurecidos desde a superfície até os horizontes mais profundos formados a partir de alteração em regiões de clima intertropical atual ou em paleoambientes”.

Segundo FERRARI (1996) duas posições emergem. Uma, adotada por muitos cientistas que utilizam o termo laterita, para designar produtos do intemperismo em ambientes tropicais, ricos em ferro e alumínio, endurecidos ou sujeitos ao endurecimento sob exposição alternada entre umidade e ressecamento (TARDY et al., 1991, COSTA 1991, LUCAS & CHAUVEL 1992, VASCONCELOS et al., 1994, COSTA 1997, GIRARD et al., 1997, THÉVENIAUT e FREYSSIENT 1999, 2002). Contém certos materiais altamente alterados, ricos em sesquióxidos, pobres em matéria orgânica, incluindo ainda todos tipos de plintitos, que se tratam de lateritas no *stricto sensu*, mas exclui caulinita moldável, saprólito finos e solos ferralíticos não endurecidos.

Para outros pesquisadores, a palavra laterita não é restrita aos materiais endurecidos, mas inclui todos os tipos de produtos de intemperismo em ambiente tropical.

A segunda vertente, mais ampla, deriva de conclusões estabelecidas em encontros internacionais. Segundo FERRARI (1996), a partir de 1978, organismos internacionais como a Associação Internacional de Geoquímica e Cosmoquímica e a UNESCO, através de seu Programa Internacional de Correlações Geológicas, atentando para a relevância dos materiais lateríticos nos países em desenvolvimento, iniciaram a formação de grupos de trabalhos para uniformizar os conceitos adotados pelos diferentes campos das geociências. SCHELLMANN (1982) apresentou a moderna definição de laterita: “acumulações superficiais ou subsuperficiais de produtos provenientes do

intenso intemperismo de rochas, desenvolvidos sob condições favoráveis a uma maior mobilidade dos elementos alcalinos, alcalinos-terrosos e sílica e imobilização de ferro e alumínio”. Segundo COSTA (1991), laterito é o termo usado para designar rochas formadas ou em fase de formação por meio de intenso intemperismo químico de rochas pré-existentes, inclusive lateritos antigos, sob condições tropicais, ou equivalentes.

Segundo OKONKWO (2015) tentou-se definir laterites pela relação $Si: (Al + Fe)$, mas não era aplicável um limite definível para laterites em diferentes rochas mães. Ao contrário, os lateritos são descritos como tipos de solo ricos em ferro e alumínio, formados em áreas tropicais quentes e úmidas. Quase todas as lateritas estão têm coloração vermelha por causa dos óxidos de ferro. Eles se desenvolvem por processos intempéricos intensivos e duradouros da rocha parental. A maioria das áreas com lateritas estava ou está entre os trópicos de câncer e capricórnio, que incluem áreas estáveis do Escudo Africano, o Escudo Sul Americano e escudo Australiano.

FREYSSINET et al. (2005), define laterização como “processo de desgaste, que ocorre em climas tropicais úmidos, levando a dissolução da maior parte dos elementos solúveis, tais como K, Na, Mg, Ca, e algum Si, e acumulando elementos menos solúveis, tais como Fe e Al. Os principais depósitos deste tipo são a bauxita, Ni (Co) laterítico, e Au laterítico saprolíticos, bem como depósitos de minério de ferro, Mn, Nb e/ou fosfato, Pt, e U. A maior parte desses depósitos tendem a ser de baixa qualidade, grande tonelagem, e pode não ser necessariamente considerado como minério”.

Condições de alta temperatura e forte umidade, típicas em regiões tropicais, limitadas a uma faixa balizada pelos paralelos 30° N e 30° S de latitude, favorecem a laterização (COSTA, 1991; FERRARI, 1996; COSTA 2007). Estas formações consistem em uma paragênese mineral relativamente simples, predominando óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, como hematita, goethita, gibbsita, materiais amorfos, e argilominerais do grupo da caulinita, além do quartzo, considerado um mineral do grupo dos resistatos ao intemperismo. A figura 2 apresenta a distribuição global do fenômeno da laterização. Segundo COSTA (2007) as formações lateríticas já conhecidas estendem-se além desta

zona, sendo encontradas em várias regiões, onde seriam aparentemente improváveis para estas rochas, que, no entanto, estão indicando que as mesmas foram, em seu processo de formação, regiões de clima tropical a subtropical. As diferentes zonas climáticas atuais que foram relacionadas com o seu mineral dominante estão representadas na figura 3.

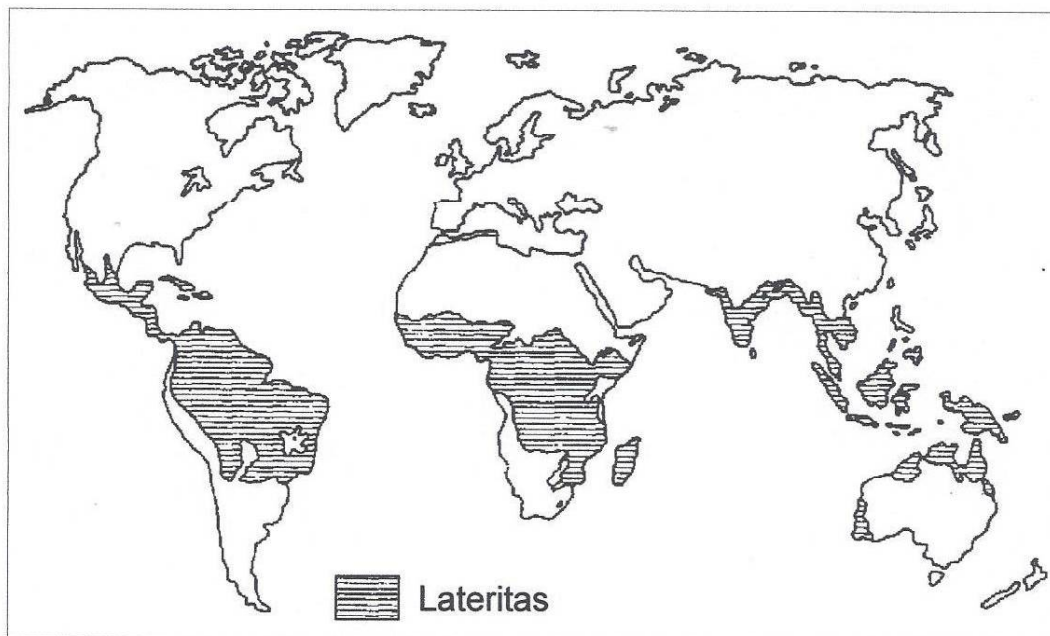


Figure 2: Distribuição global do fenômeno de laterização. Fonte BARDOSSY e ALEVA (1990).

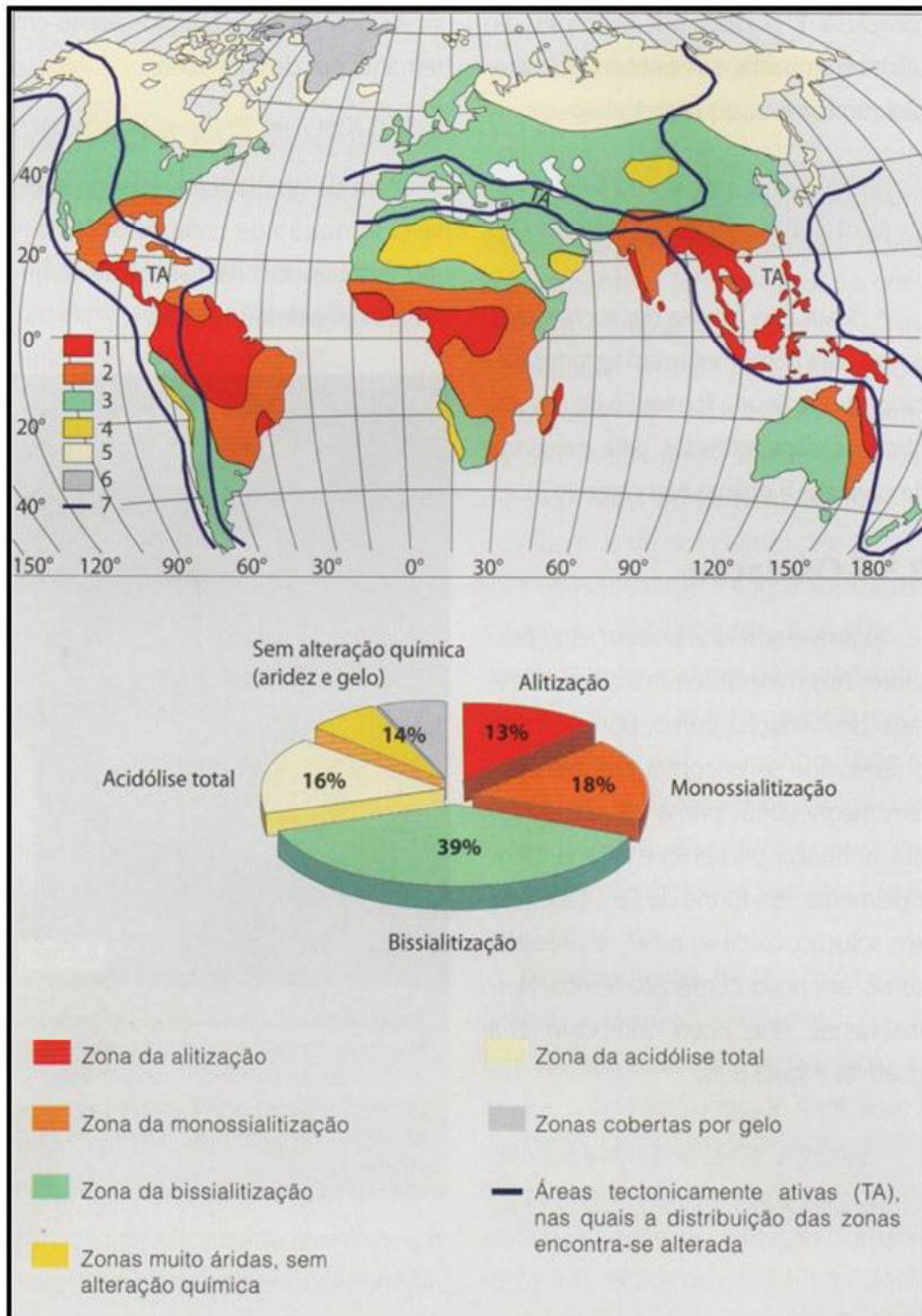


Figure 3: Distribuição dos principais processos de intemperismo da Terra. TEIXEIRA et al. (2009).

Muitas classificações foram propostas para tentar agrupar os diferentes tipos de lateritas, tendo como base a porcentagem de sesquióxidos, tipos de

óxidos em que temos três átomos de oxigênio combinados a dois átomos de outro elemento, o quimismo, a mineralogia e os aspectos físico-morfológicos. Porém essas classificações não eram completas e não se adaptavam a todos os tipos de materiais lateríticos. SCHELLMANN (1982), apresentou uma classificação englobando todas as lateritas utilizando uma base químico/mineralógica e adotando a representação triangular (Figura 3), considerando os teores de sílica, alumínio e ferro em função dos minerais presentes, como o quartzo, caulinita, hematita, goethita e gibbsita.

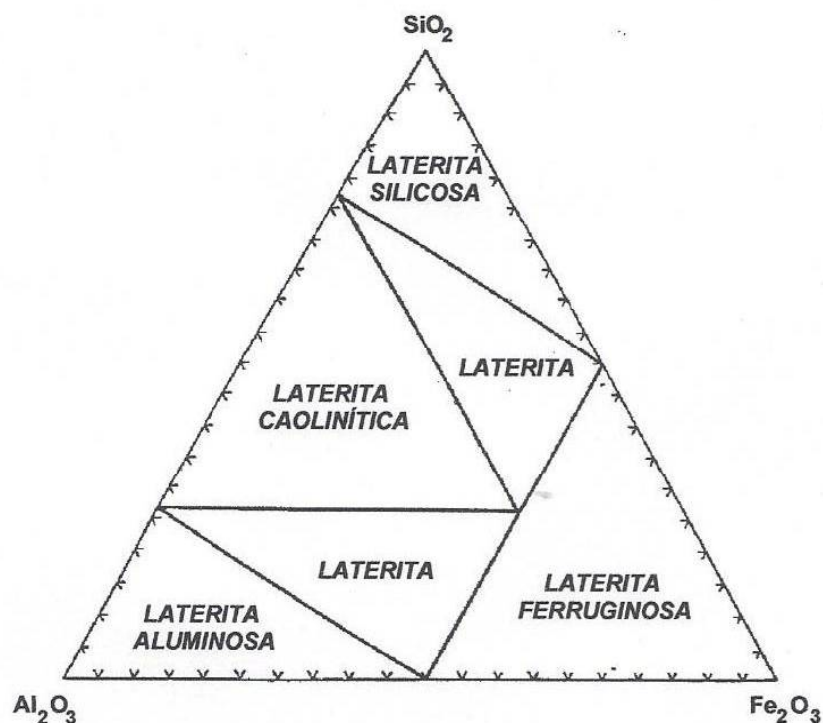


Figure 4: Diagrama triangular de SCHELLMANN (1982), para classificação de lateritas. Fonte: FERRARI (1996).

Neste diagrama, evidencia-se que existem diferentes tipos de lateritas, como a laterita silicosa, rica em quartzo; laterita ferruginosa, rica em ferro, que forma as couraças ferruginosas; laterita aluminosa, rica em alumínio, que frequentemente constitui os depósitos bauxíticos; lateritas argilosas, possuindo elevados teores em caulinita, as quais em muitas vezes podem formar depósitos de caulim e, as lateritas *stricto sensu*, que representam o material caracterizado

pela paragênese mais comum dos solos tropicais, caulinita associada a quantidades variáveis de hematita, goethita e gibbsita (FERRARI, 1996).

2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS PERFIS LATERÍTICOS EM ZONA INTERTROPICAL

Nos processos supergênicos em clima e/ou ambiente tropical, propícios a laterização, a alteração é intensa, afetando simultaneamente todos os minerais instáveis, que rapidamente são lixiviados do perfil. Nestas condições, os processos de neoformação são dominantes, e levam à formação de horizontes constituídos essencialmente de minerais secundários, sem a presença de minerais primários instáveis. Em tais condições, os perfis lateríticos alcançam grandes espessuras, podendo ser tão espessos que apenas os horizontes superiores apresentam evolução pedológica.

Em condições tropicais, a elevação das temperaturas promove a rápida degradação da matéria orgânica, que é totalmente mineralizada devido a alguns de seus constituintes ligados ao carbono transformarem-se na forma inorgânica. Neste ambiente, os principais agentes da alteração são as condições de drenagem e a acidificação da água provocada pelo CO_2 , resultante da decomposição da matéria orgânica. Nessas condições, o pH tem variação de 5,5 a 6,0, assim, o alumínio e o ferro são praticamente insolúveis, acumulando-se na forma de óxidos e ou hidróxidos nos perfis de alteração, enquanto que os elementos alcalinos e alcalino-terrosos são totalmente lixiviados. A sílica é mobilizada, porém com velocidade relativamente mais baixa quando comparada aos alcalinos (FERRI, 1996).

Ao longo do tempo geológico, os perfis lateríticos foram submetidos a condições ambientais diferenciadas, onde fatores climáticos variaram em sua intensidade e no tempo de atuação (COSTA 1991). Esta heterogeneidade de condições levou à formação de perfis com características variadas, que se traduzem nos horizontes de alteração formados. OLLIER e SHETH (2008) propuseram um perfil laterítico ideal em clima tropical úmido-seco (Figura 5).

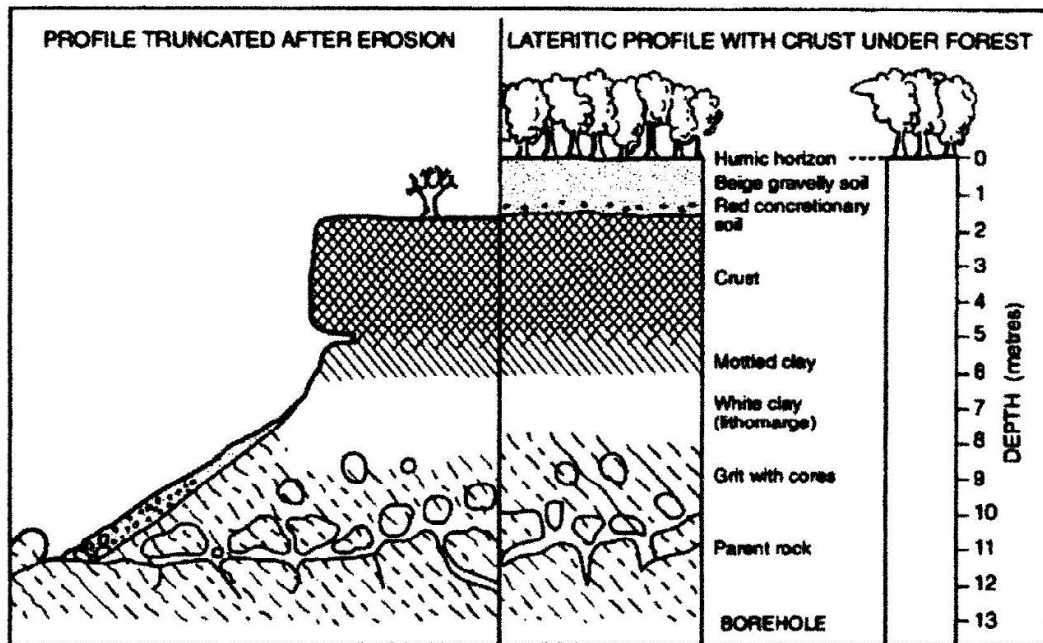
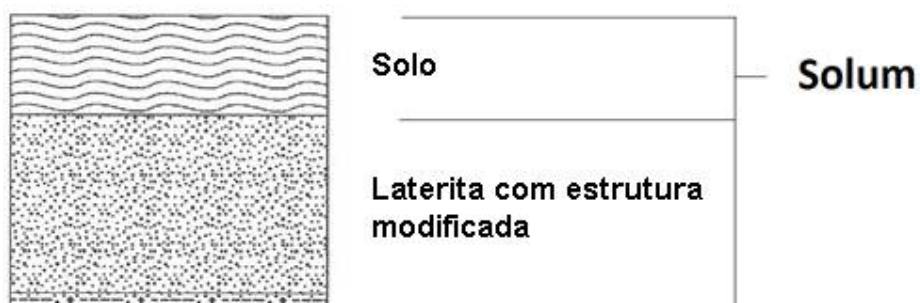


Figure 5: Perfil laterítico ideal em clima tropical úmido-seco (Adaptado THOMAS 1974; OLLIER e SHETH, 2008).

MELFI (1994) propôs um perfil laterítico esquematizado na figura 6, na qual a partir da rocha sã, são propostos dois conjuntos, o inferior que é de alteração, a laterita, e o superior caracterizado pelas evoluções pedológicas, o solum.

Neste último ocorrem acumulações de óxidos, hidróxidos e argilominerais. Porções reliquias podem ser conservadas, mas geralmente apresentam-se transformadas total ou parcialmente. Neste nível podem ocorrer estruturas de acumulações endurecidas contínuas como couraças e carapaças, ou descontínuas como nódulos ou pisólitos (FERRARI 1996).



Segundo MELFI (1994), no interior do perfil laterítico, as estruturas e os volumes originais da rocha são em geral preservados, mesmo com perdas de matéria por dissolução que podem atingir até 80%. Minerais primários podem ser totalmente substituídos por minerais secundários sem que a estrutura original da rocha seja destruída. Nesses locais, a acumulação e a formação de minerais secundários está associada a dois mecanismos: acumulação relativa, onde os elementos menos móveis formam produtos residuais, e a acumulação absoluta, onde produtos são formados pela introdução da matéria. (KOTSCHOUBEY et al., 2005). No primeiro caso, constatamos pela presença de argilominerais, formados a partir da hidrólise ácida, ou por óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. No segundo caso, temos o aporte de elementos como ferro e alumínio, provindo de áreas mais elevadas pela presença de fluidos percolantes.

2.2 PROCESSO DE LATERIZAÇÃO NA AMAZÔNIA

Segundo COSTA (1991) os primeiros registros de laterita da região amazônica foram feitos por KATZER (1903), descrevendo como arenitos ferruginosos, aos quais foi dada a denominação de “Grés do Pará”. A partir dos

anos 50 que as lateritas da Amazônia tiveram mais relevância com a descoberta de grandes depósitos minerais, principalmente as bauxitas no Baixo Amazonas e Paragominas. COSTA (1991) afirma que na década de 1970, vários trabalhos científicos foram publicados sobre as lateritas com destaque para WOLF (1972), ASSAD e NETO (1976), DENNEN e NORTON (1977), GREIG (1977), KLAMMER (1978), ASSAD (1978), ASSAD e BEISIEGEL (1978), GRUBB (1979) e KRONBERG et al (1979a).

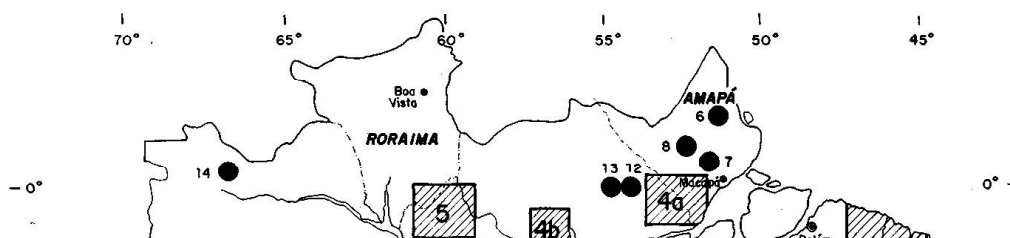
Na década de 80 houve uma valiosa contribuição de artigos científicos mostrando a grande afinidade da Amazônia com o meio laterítico. Muitos desses trabalhos científicos foram publicados por pesquisadores do Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará sobre depósitos minerais associados a processos lateríticos, como é o caso de COSTA (1980), COSTA e SÁ (1980), COSTA et al (1980), OLIVEIRA e SCHWAB (1980), KOTSCHOUBEY e TRUCKENBRODT (1981), COSTA (1982), SIQUEIRA E LIMA (1982), TRUCKENBRODT (1982) LIMA e REIMÃO (1983), LEMOS e VILLAS (1983), SCHWAB et al. (1983), COSTA (1984), KOTSCHOUBEY et al. (1984), SCHWAB et al. (1985) e KOTSCHOUBEY (1988). Também houveram publicações de outras instituições brasileiras e estrangeiras, que demonstraram interesse pelas lateritas da Amazônia: VALARELLI et al. (1978), BEISIEGEL (1982), BERNARDELLI et al (1983), ALVES et al. (1984), VIEIRA et al. (1984), GROKE et al. (1985), BEAUVAS et al. (1987), CHAUVEL et al. (1983), LUCAS (1989) e LUCAS et al. (1989).

Nas décadas seguintes houveram muitas contribuições ao conhecimento dos processos de laterização como OLIVEIRA (1990), TARDY et al. (1991), OLIVEIRA et al. (1992), ANGÉLICA E COSTA (1993), OLIVEIRA e VALENTE (1993), VASCONCELOS et al. (1994), MAURITY (1995), ANGÉLICA et al. (1996), RUFFET et al. (1996), PORTO e HALE (1996), COSTA e ARAÚJO (1996), KOTSCHOUBEY et al. (1996, 2005), COSTA (1997), HORBE e COSTA (1997), BOULANGÉ et al. (1997), CARVALHO et al. (1997), COSTA e MORAES (1998), OLIVEIRA e UMBERNON (1998), HORBE e COSTA (1999 a, b), TOLEDO et al. (2004), , SHUSTER et al. (2006), SALGADO (2006), DANIEL et al. (2006), SAHOO et al. (2016) entre outros.

Na região amazônica as lateritas podem ser encontradas com ampla distribuição (Figura 7). Porém, segundo COSTA (1991), somente as lateritas ferruginosas e bauxíticas constituem grandes corpos, destacando-se os corpos bauxíticos e caulíníticos da região de Paragominas-Capim (PA), lateritas ferruginosas, bauxíticas, magnesíferas, auríferas e níquelíferas de Carajás (PA) e as bauxitas lateríticas do Baixo Amazonas, depósitos de Trombetas e Juruti (PA) e Pitinga (AM). Os horizontes argilosos mosqueados (plintitos), os horizontes ferruginosos concrecionários (petroplintitos), conhecidos como lateritos imaturos (COSTA, 1991), recobrem toda a região Amazônica, exceto as áreas com cobertura sedimentar pleistocênica tardia a holocênica.

Quanto ao grau de evolução, as lateritas da Amazônia podem ser classificadas em dois grandes grupos, com base em seus aspectos mineralógicos, geoquímicos e feições geográficas, os quais estão relacionados com o grau de evolução, em lateritas imaturas e lateritas maduras (COSTA, 1991). As primeiras têm ampla distribuição e formam relevo jovem com grande expressão em toda a Amazônia. Os perfis dessas lateritas apresentam características típicas de baixo grau de evolução. Nessas, é clássica a presença de um horizonte concrecionário ferruginoso. O segundo grupo, lateritas maduras, embora sejam bem representadas na Amazônia, não têm a mesma extensão geográfica das lateritas imaturas, restringindo-se a algumas regiões, como as representadas na figura 7. Em geral, estão expostas em um relevo mais elevado, sob a forma de platôs ou morros. São lateritas evoluídas, com maior complexidade de horizontes, texturas, estruturas, mineralogia, feições geoquímicas e mineralizações associadas. Essas lateritas revelam, de maneira geral, feições típicas de processos policíclicos (KOTSCHOUBEY e TRUCKENBRODT 1981) e epigenéticos (COSTA 1990a).

Devido ao grau de evolução, em função de complexidade de horizontes, textural, mineralógica e feições geoquímicas, bem como sua ocorrência e morfologia associadas, os lateritos da região de Carajás são enquadrados como maduros segundo a classificação de COSTA (1991), fato este que justifica a maior ênfase desses lateritos nesse trabalho.



1. Gurupi (Pará-Maranhão);
2. Paragominas-Capim (Pará);
3. Carajás (Pará);
4. Baixo Amazonas (Pará): a) Trombetas, Nhamunda e Faro. b) Almerim, Monte Dourado e Felipe;
5. Pitinga (Amazonas);
6. Cassiporé (Amapá);
7. Vila Nova (Amapá);
8. Serra do Navio (Amapá);
9. Tucuruí (Pará);
10. Quatipuru (Pará);
11. Manaus (Amazonas);
12. Maracanaí (Pará);
13. Maicuru (Pará);
14. Seis Lagos (Amazonas)

Figure 7: Distribuição geográfica das principais regiões e corpos isolados lateríticos da Amazônia. Adaptado de COSTA (1991).

2.2.1 Lateritos Maturos

Os perfis lateríticos maturos são bastante evoluídos, com grande variedade de texturas e estruturas singenéticas, além de uma gama de minerais associados. Segundo COSTA (1991), os perfis lateríticos maturos da Amazônia são sempre compostos por uma sequência formada da base para o topo por um horizonte pálido ou transicional, horizonte argiloso, horizonte bauxíticos e/ou de fosfatos de alumínio e a crosta ferruginosa (Figura 8).

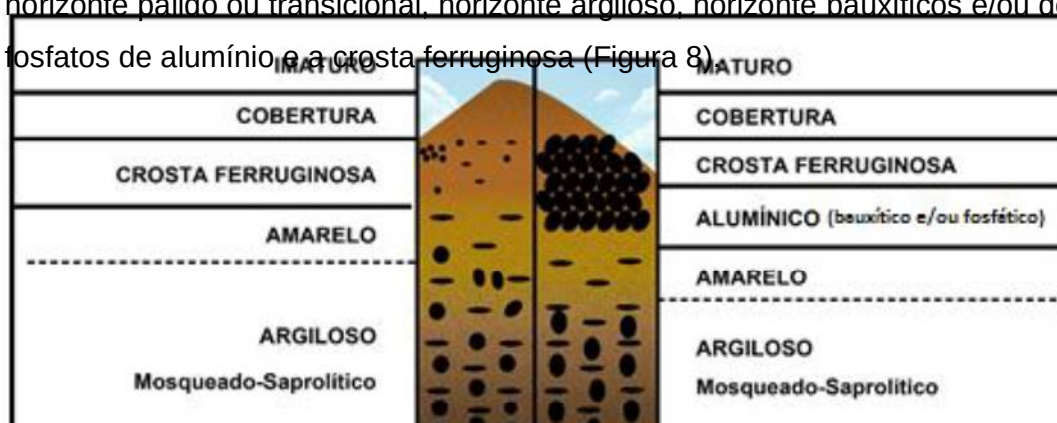


Figure 8: Estruturação geral dos perfis lateríticos completos na Amazônia, segundo Costa (1991), distinguindo-se perfis imaturos e maduros, confrontados entre si em termos de horizontes. Modificado de Costa (2007).

O horizonte pálido ou transicional, corresponde a transição entre a rocha mãe e o horizonte argiloso sobreposto. Caracteriza-se por uma coloração mais pálida em relação a rocha-mãe, em decorrência da decomposição dos materiais máficos, dos sulfetos e da matéria orgânica, porém sem que ainda tenha ocorrido a formação de óxi-hidróxidos de ferro. Este horizonte é composto basicamente de argilominerais complexos, em coexistência desarmônica com minerais primários estáveis ao intemperismo.

O horizonte argiloso encontra-se imediatamente sobreposto ao horizonte transicional. Nele os minerais singenéticos mais representativos são os argilominerais e os óxi-hidróxidos de ferro. Esse horizonte pode apresentar quatro zonas, a mosqueada, o saprólito mosqueado, o saprólito marrom e a zona argilosa e/ou terrosa de amarela a marrom. Neste horizonte, a porção superior é rica em estruturas singenéticas, enquanto que a porção inferior contém mais estruturas reliquias. A espessura média fica em torno de 10 a 30 metros.

O horizonte bauxíticos e/ou de fosfato de alumínio encontra-se em contato abrupto com o horizonte argiloso. É constituído de uma rocha amarela, variando de creme a vermelha, formada de blocos centimétricos a métricos, nódulos e esferulitos, imersos em uma matriz argilosa de abundância variável. Sua constituição mineralógica consiste basicamente de hidróxidos (bauxita) ou fosfatos de alumínio. As estruturas reliquias mais presentes são pseudomorfos de fenocristais, de blasteses, de vênulas, de porfiroblastos, de molde de raízes

e de bioturbação. São comuns estruturas singenéticas, como esferulitos (oólitos, pisólitos, etc.). Também são frequentes os aspectos cavernosos e esponjosos, estruturas colunares e nodulares (COSTA 1991, KOTSCHOUBEY *et. al.*, 2005).

A crosta ferruginosa encontra-se normalmente no topo dos perfis, em geral sob a forma de rocha dura e densa, muitas vezes magnética, de coloração marrom-avermelhada. O seu arcabouço geral tem os seguintes aspectos (COSTA 1991):

- Agregados de nódulos, concreções e esferulitos vermelhos de óxi-hidróxidos de ferro, cimentados por fosfatos e/ou hidróxidos de alumínio, brancos e amarelos, formando um material conglomerático; fragmentos e pseudofragmentos de material ferruginoso com cimento igual ao anterior, descrevendo um material brechóide;
- Fragmentos marrom-avermelhados, também de óxi-hidróxidos de ferro ligados entre si apenas por meio de córtex microcristalino, criando um aspecto pisolítico;
- Material rico em óxi-hidróxido de ferro entrelaçado, que envolve um outro padrão equivalente ao cimento dos casos anteriores. Este padrão representa o endurecimento e a recristalização do padrão do horizonte argiloso.

Na Amazônia, a crosta ferruginosa, por estar próxima à superfície, está atualmente em vias de intemperismo e assim recobertas por inúmeros materiais, destacando-se os solos, sedimentos e rochas sedimentares (COSTA 2007) (Figura 9). Excepcionalmente como em Carajás, a crosta está desnuda, formando o relevo (COSTA 1991)

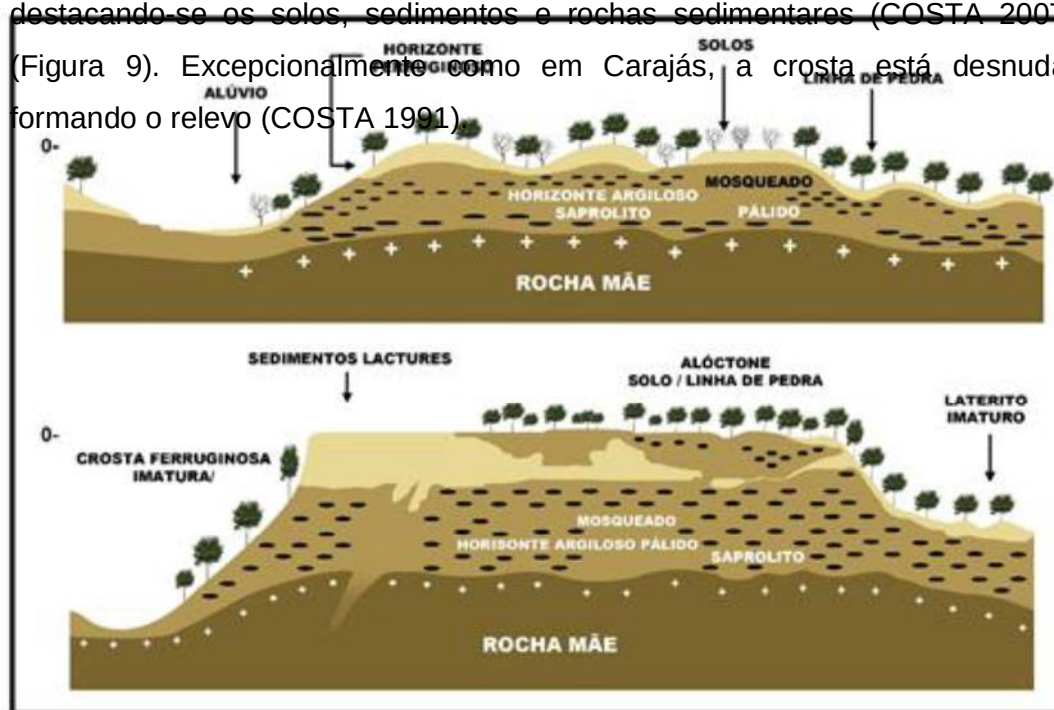


Figure 9: Perfis lateríticos maduros (abaixo) e imaturos, (acima) na Amazônia e suas principais coberturas, segundo Costa (1991). Modificado de Costa (2007).

2.2.2 Mineralogia e Textura dos Horizontes Lateríticos

A constituição mineralógica dos horizontes de um perfil laterítico maduro apresentam assembleias mineralógicas diferenciáveis que podem ser usadas para sua caracterização. Nelas, destacam-se os óxi-hidróxidos de ferro (hematita, maghemita e goethita), de alumínio (gibbsita e bohemita) e os de argila (caulinita e halloysita). Segundo COSTA (2007), quanto a sua origem, esses minerais podem ser classificados em neoformados (argilominerais, óxi-hidróxidos de ferro, de alumínio, de titânio de manganês e os fosfatos de alumínio); resistatos (quartzo, zircão, turmalina, ilmenita, cassiterita, topázio e rutilo) e os epigenéticos (Al-goethita, caulinita, quartzo, siderita, pirita e fosfatos de ferro).

Segundo COSTA (2007), a distribuição de cada mineral constituinte dos perfis lateríticos é controlada pelos horizontes. Os diferentes horizontes diferenciam-se entre si através de assembleias mineralógicas típicas, como no caso da hematita + goethita $\pm$ caulinita $\pm$ crandallita-goyazita, entre outros, constituem a crosta ou duricrosta (horizonte superior); os fosfatos; gibbsita $\pm$ (bohemita) $\pm$ (crandallita-goyazita) + hematita + goethita a crosta aluminosa (bauxita e seus correspondentes fosfáticos; caulinita + quartzo $\pm$ grupo da serpentina $\pm$ (Ni, Mg) o topo do saprólito e os óxi-hidróxidos de manganês e as crostas magnesíferas a base do saprólito. Os minerais resistatos, têm sua distribuição ao longo do perfil e sua variação também controlada pelo padrão da rocha-mãe, concentrando-se em direção ao topo.

A hematita, a maghemita e ainda a goethita compõem os fragmentos, nódulos, pisólitos e outras concreções da crosta, que podem estar cimentados por córtex de Al-goethita, mas principalmente por gibbsita, bohemita e/ou fosfatos de alumínio (crandallita-goyazita) (Figura 10).

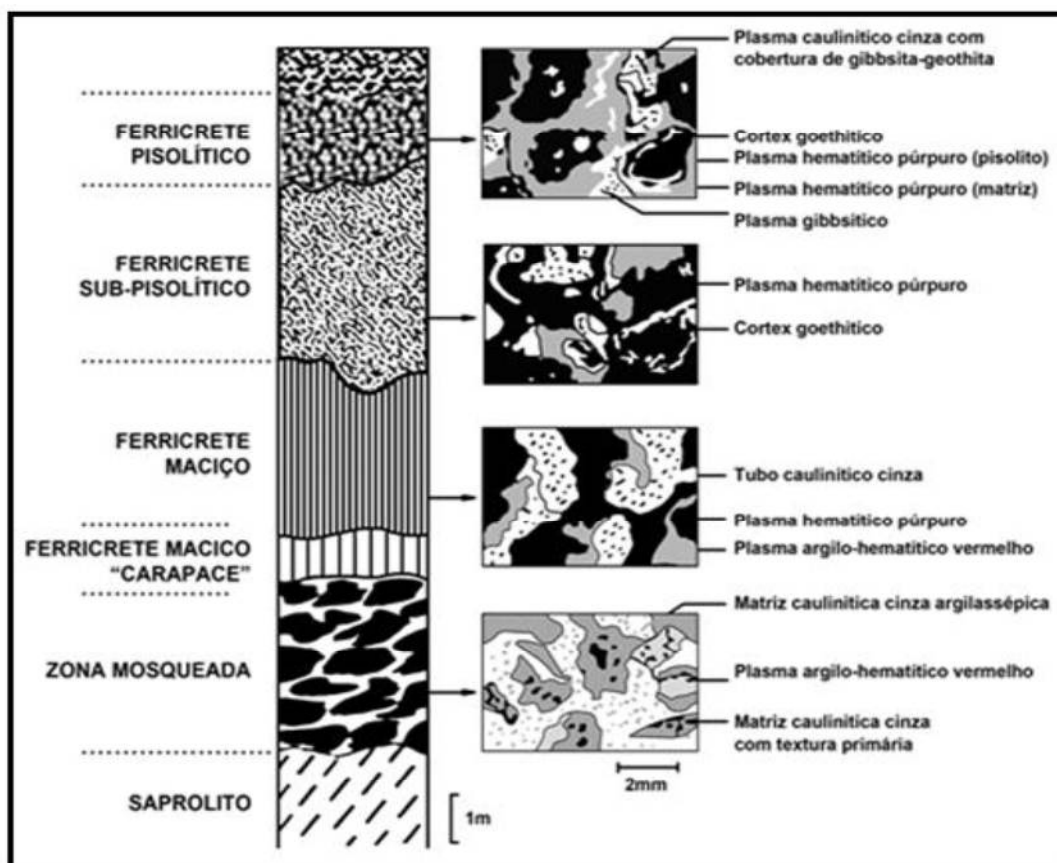


Figure 10: Organização micro morfológica da parte superior do perfil laterítico. Modificado de FREYSSINET (1993). In: COSTA (2007).

3 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

3.1 RELEVO

A Serra dos Carajás situa-se entre o domínio Amazônico e o do Cerrado, ficando este localizado mais para leste. Nesse contexto ocorre um conjunto de relevos tabulares, de direção geral E-W, cujos topos aplainados apresentam declividades inferiores a 2° e altitudes média de 650 m (AB'SÁBER, 1986). Segundo BOAVENTURA (1974), esse relevo é marcado por serras com altitudes médias de 700m, onde se situam as serras Norte e Sul; chegando a 900m na Serra dos Carajás. Nas porções mais altas da serra, dispõem-se os relevos

residuais caracterizados pelas coberturas lateríticas (MORAES et al. 2002; VALENTIM e OLIVITO, 2011).

3.2 HIDROGRAFIA

A hidrografia é caracterizada por fortes declives e pelo regime torrencial das chuvas. A maior parte da região é drenada pela rede hidrográfica do rio Itacaiúnas (Figura 11), afluente da margem esquerda do rio Tocantins, e seu principal tributário o rio Parauapebas. O rio Itacaiúnas nasce na Serra Arqueada - formado pela junção dos ribeirões Água Preta e Água Azul - recebe pela margem esquerda os rios Pium, Cateté, Aquiri, Cinzento, Tapirapé e o igarapé Salobo e pela direita os igarapés Águas Claras e Azul (SILVEIRA et al. 2015)

3.3 CLIMA

O clima da região insere-se na categoria de equatorial super-úmido, tipo Am na classificação de KÖPPEN (1936), no limite de transição para o Aw. Possui temperatura média anual de 26,35° C e mínima de 22,10° C. A umidade relativa é elevada, apresentando oscilações entre a estação chuvosa e a mais seca, que vão de 100% a 52%, sendo a média de 78%.

O período chuvoso ocorre, notadamente, de novembro a maio, e o mais seco, de junho a outubro, estando o índice pluviométrico anual de 2.000 mm.

AMORIM NETO et al. (2015) estudaram algumas características observadas de 16 eventos de frentes frias afetando as condições meteorológicas sobre a Amazônia, sendo que os padrões de precipitação acima da média foram verificados nos estados do Amazonas e sudoeste/sudeste do Pará, durante os meses de inverno.

Segundo SOUZA et. Al. (2017), a análise das tendências para o regime chuvoso no Sudeste do Pará evidenciou sinais de aumento sistemático de precipitação para a região.

Segundo Guimarães (2017) o clima regional é a monção tropical, com uma temperatura média anual de cerca de 26 ° C. A precipitação anual total varia de 1800 para 2300 mm, com uma média total de ~ 1550 mm durante a estação chuvosa (Novembro a maio) e ~ 350 mm durante a estação seca (Junho a outubro).

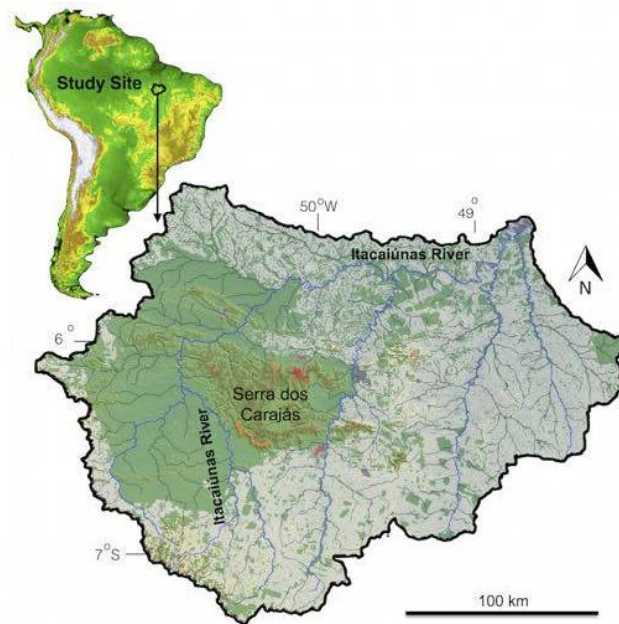


Figure 11: Delimitação da Bacia Hidrográfica do Itacaiúnas (adaptado de SOUZA-FILHO, 2015).

3.4 VEGETAÇÃO

Na região de Carajás, a vegetação é caracterizada por floresta equatorial ombrófila densa, de climas quentes-úmidos e super-úmidos. Segundo PARADELLA et al. (1994), através de estudos mais detalhados na região de Pojuca (PA), existem sete classes geobotânicas, onde as classes possuem relações com comunidades vegetais, relevo e litologia.

Nos platôs, onde ocorrem as crostas ferruginosas, a vegetação é do tipo campo rupestre (SILVA et al. 1986), constituída predominantemente por herbáceas e arbustivas, com pouco desenvolvimento do tipo semi-arbóreo. Há trechos em que esta vegetação se torna escassa, permitindo a exposição das formações ferríferas. Muitos lagos encontram-se encobertos por vegetação do tipo *Typha sp*, conhecida popularmente como “taboa”, onde também há extensas exposições das crostas nos períodos de seca.

No topo dos morros, onde há muitos afloramentos rochosos, a camada de solo é praticamente inexistente e as espécies desenvolvidas são de porte reduzido. Isto se deve ao pequeno acúmulo de matéria orgânica nas fendas das rochas ou entre elas, levando à formação de tapetes de gramíneas sobre as cangas. À medida em que se desce as encostas, ocorre um certo acúmulo de solo e de matéria orgânica, permitindo o desenvolvimento de espécies de porte maior.

GUIMARÃE et al. (2017), definiram no entorno da Lagoa do Amendoim como principais tipos de vegetação palmeiras, vegetação de pântano, capão florestal, herbáceas e arbustivas.

3.5 SOLO

ROSATELLI et al. (1974) e DELGADO (2012) apresentam os tipos de solo ocorrentes na região de Carajás como sendo do tipo Latossolo Amarelo com textura argilosa; Latossolo Vermelho-Amarelo com textura média; Brunizém Avermelhado com textura argilosa; Podzólico Vermelho-Amarelo de textura argilosa a arenosa; Areias quartzosas; Solos Aluviais Hidromórficos com textura indiscriminada e Solos Litóticos com textura indiscriminada.

4 GEOLOGIA REGIONAL

A região de Carajás, situada na porção Leste do Cráton Amazônico (ALMEIDA, 1978), foi formada e estabilizada tectonicamente no Arqueano, tendo sido extensivamente afetada por evento magmático paleoproterozóico, representado por diversas intrusões de granitos anorogênicos. Segundo VASQUES (2008) a Província Carajás (Figura 12), é constituída por uma associação de alto grau que representa o embasamento mesoarqueano de sequências metavulcano-sedimentares (*greenstone belts, sensu lato*) neoarqueanas e complexos máfico-ultramáficos associados.

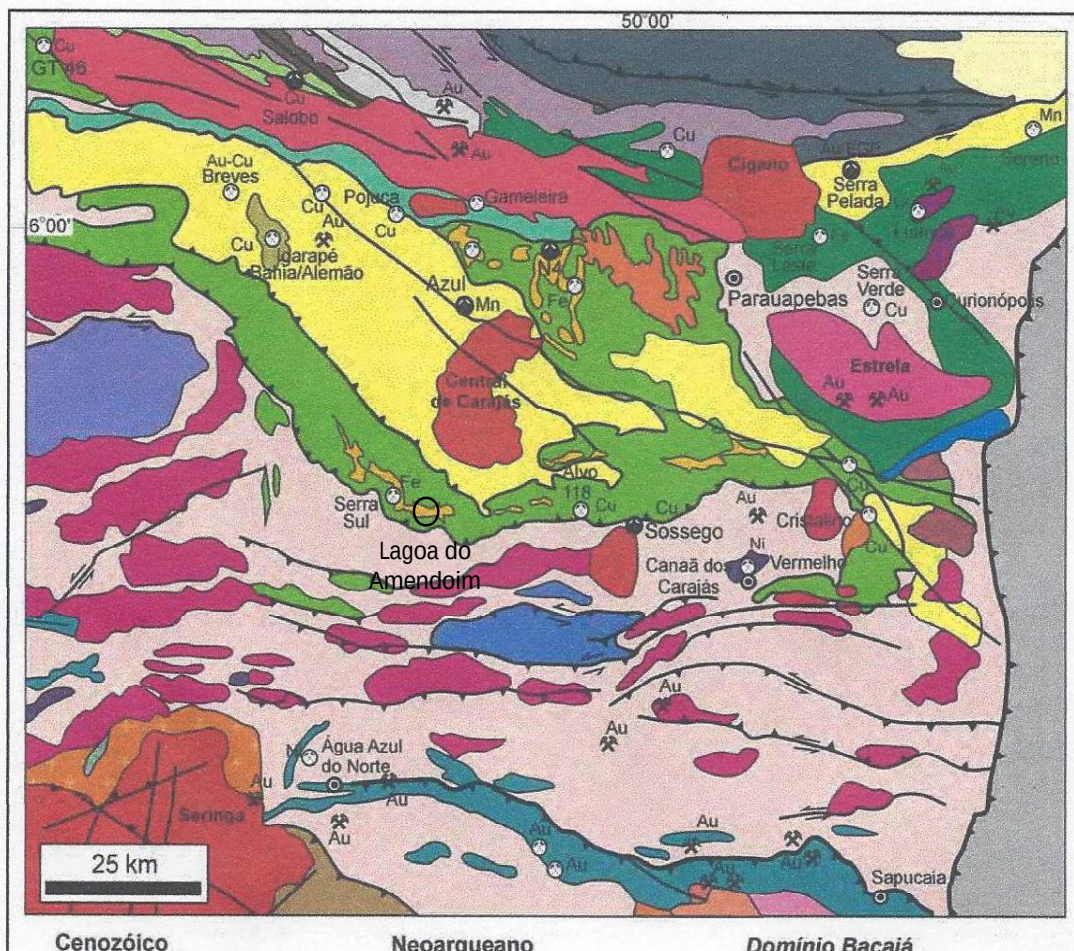
O embasamento dessa região é dominado por gnaisses graníticos, tonalíticos, trondjemíticos, anfibolitos e quartzitos do Complexo Xingu (LINDEMAYER et al. 2005). Incluem-se ainda ao Complexo Xingu os ortognaisses mesoarqueanos do Domínio Carajás e parte dos granitoides e ortognaisses do extremo sudeste do estado (Domínio Santana do Araguaia) (FARACO et al. 2004 a, b, LACERDA FILHO et al. 2004).

ARAÚJO e MAIA (1991) individualizaram núcleos graníticos mais antigos, como o Complexo Pium de idades em torno de 3,0 Ga (PIDGEON et al. 2000), interpretados como fragmentos da crosta inferior, colocados ao longo de zonas de cisalhamento regionais. Pelo rio Pium, ocorrem apenas rochas ígneas, essencialmente gabros, compondo um corpo intrusivo, com deformação variável. VASQUES et al. (2008) hierarquizaram essas rochas sob a designação Diopsídio-Norito Pium.

Recobrando discordantemente os gnaisses do Complexo Xingu ocorre o Supergrupo Itacaiúnas, caracterizado por uma sequência vulcano-sedimentar estruturada de idade Arqueana, compreendendo andesitos basálticos e rochas vulcânicas félsicas (Formação Parauapebas), nas quais se intercalam formações ferríferas bandadas (Formação Carajás), constituindo o Grupo Grão Pará, rochas vulcanoclásticas e sedimentares clásticas. Dois principais modelos geotectônicos têm sido propostos para o Grupo Grão-Pará, que admitem evolução ligada a ambientes de rifte continental (GIBBS et al. 1986, DOCEGEO 1988, OLSZEWSKI et al. 1989, OLIVEIRA et al. 1993, MACAMBIRA 2003 e outros) ou a arcos magmáticos (MEIRELLES e DARDENNE 1991, TEIXEIRA 1994, Silva et al. 2005, LINDENMAYER et al. 2005, LOBATO et al. 2005, ZUCCHETTI 2007).

A Formação Parauapebas corresponde às rochas vulcânicas máficas que ocorrem na base da Formação Carajás, representando derrames basálticos, além de rochas vulcânicas félsicas subordinadas e intrusões máficas. O termo Formação Parauapebas foi citado inicialmente por MEIRELES et al. (1984) apenas para a unidade basáltica inferior, e posteriormente adotado para toda a sequência vulcânica do Grupo Grão-Pará, a exemplo de ARAÚJO e MAIA (1991) e PINHEIRO (1997). As rochas máficas da Formação Parauapebas são descritas como corpos estratiformes sob a Formação Carajás, com contatos concordantes, que refletem uma contemporaneidade entre estas duas

formações (BEISIEGEL et al., 1973, GIBBS e WIRTH 1990, MACAMBIRA 2003). As rochas máficas incluem os derrames basálticos e rochas intrusivas como *sills* e diques, que receberam variadas classificações, como basaltos, basaltos andesíticos, andesitos, andesitos basálticos, traquiandesitos, dacitos, quartzo dioritos, dioritos e gabros (LINDENMAYER et al. 1994a, 2005; HÜHN et al. 1999b, MACAMBIRA 2003; SILVA et al., 2005; ZUCCHETTI 2007). Ocorrem também associados aos derrames basálticos inferiores, níveis pouco espessos de rochas piroclásticas básicas a intermediárias, além de derrames e tufos félsicos descritos como riolitos, *lapilli* tufos, tufos vítreos e de cristais.



As idades U-Pb em zircão obtidas para a Formação Parauapebas são concordantes entre si, entre 2757 ± 7 Ma e 2760 ± 11 Ma (MACHADO et al., 1991; Trendall et al., 1998) e as razões isotópicas iniciais de Sr para os metabasaltos e metarriolitos indicam que são rochas originadas de fusões mantélicas com assimilação de crosta continental mais antiga (ZUCCHETTI 2007).

A Formação Carajás contém o protominério das jazidas de ferro de Carajás. É descrita como constituída por jaspilitos, com bandamento definido pela alternância de micro e mesobandas de óxidos de ferro (hematita, magnetita e martita), jaspe (chert impregnado por hematita fina) e/ou chert branco, além de carbonatos subordinados. A granulação destas rochas é fina, com textura granoblástica, sendo por vezes venulados e brechados (BEISIEGEL et al. 1973, BEISIEGEL 1982, MEIRELLES 1986, MACAMBIRA e SILVA 1995, MACAMBIRA 2003, LINDENMAYER et al., 2001a, FIGUEIREDO e SILVA et al., 2004, 2005, LOBATO et al., 2005). Na região da Serra Sul, LINDENMAYER et al. (2001a) descrevem as formações ferríferas com magnetita recristalizada,

interpretada como provocada por metamorfismo de contato por um *sill* gabro-diorítico, com destruição das estruturas primárias. Várias estruturas sedimentares deposicionais e pós-deposicionais preservadas são descritas nesta formação (MEIRELLES 1986, MACAMBIRA e SILVA 1995, LINDENMAYER et al., 2001a, MACAMBIRA 2003), tais como laminação plano-paralela, esferulitos de provável origem orgânica, estruturas de escavação e preenchimento, estruturas de escorregamento (slump), marcas de sobrecarga, estruturas em chama e brechas de dissolução (VASQUES, 2008).

A idade de deposição da Formação Carajás é inferida a partir da datação de rochas metavulcânicas concordantes ao acamamento dos jaspilitos, com intervalos entre 2740 ± 8 e 2757 ± 18 Ma (TRENDALL et al., 1998, MACAMBIRA et al. 1996, KRYMSKY et al., 2002). Segundo MACAMBIRA (2003), o intervalo máximo de deposição desta unidade é de 29 Ma, considerando-se como idade máxima a da Formação Parauapebas, de 2759 ± 2 Ma (MACHADO et al. 1991), e a idade mínima de 2740 ± 8 Ma (TRENDALL et al., 1998) de um *sill* que corta a Formação Carajás.

Recobrando as unidades anteriores, ocorre a Formação Águas Claras que representa uma cobertura siliciclástica arqueana, não metamorfizada, distribuída amplamente na porção central da estrutura sigmoidal da Serra dos Carajás. Esta formação foi definida inicialmente por ARAÚJO et al. (1988) como a unidade superior do Grupo Grão Pará, e posteriormente redefinida por NOGUEIRA (1995), que admite um contato discordante desta formação com os grupos Grão-Pará e Igarapé Pojuca, subjacentes.

TRUCKENBRODT et al. (1996) e ANAISSE Jr. (1997) classificam os arenitos da Formação Águas Claras como quartzo arenitos e quartzo arenitos líticos, constituídos por quartzo, illita, clorita, mica branca, fragmentos líticos de arenitos, pelitos e vulcanitos, e minerais pesados (zircão, turmalina, rutilo), além de raros grãos de feldspato alterado para sericita e fragmentos de chert descritos por ROSA-COSTA (1992). A Formação Águas Claras é recortada por diques e soleiras máficas, com idades que variam entre 2708 ± 37 Ma (U-Pb em zircão, MOUGEOT et al., 1996) e 2308 ± 10 Ma (Pb-Pb por evaporação em zircão, SANTOS (2002), sendo que a primeira indica a idade mínima de deposição desta unidade.

Grandes zonas de falhas de sentido E-W, denominadas de Carajás e Cinzento se originaram devido à reativação de grandes falhas do embasamento do tipo transcorrente em um regime rúptil-dúctil (PINHEIRO & HOLDSWORTH, 1997). Durante esta reativação colocaram-se diversos *sills* de diabásio pouco profundos (LINDENMAYER et al., 1998). Estes *sills* cortam atualmente os arenitos da Formação Águas Claras (BARROS et al., 1994. 2.645 ± 12 Ma, Pb/Pb em zircão, DIAS et al., 1996) e as formações ferríferas da Formação Carajás (TEIXEIRA e EGGLE, 1994).

Granitos anorogênicos de idade $\approx 1,8$ Ga cortam as rochas descritas anteriormente, tais como os granitos Carajás, Pojuca, Salobo e Cigano. Para estes corpos datados, DALL'AGNOL et al. (2005) obtiveram idades TDM arqueanas, entre 3,35 a 2,61 Ga, e valores de ϵ_{Nd} fortemente negativos, entre -9,7 e -7,9 (para $t = 1880$ a $1,88$ Ga), que indicam que os magmas geradores derivam de crosta arqueana.

Diques de diabásio toleíticos continentais de idade cambriana (553 ± 32 Ma, K-Ar, rocha total, (CORDANI, 1981) correspondem aos últimos eventos magmáticos registrados na região (LINDENMAYER et al., 2001).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Na área do entorno da Lagoa do Amendoim foram estudados os aspectos referentes aos processos de transporte, deposição e/ou diagênese próprios do sistema deposicional (faciológicos), texturais e mineralógicos de cinco seções geológicas de crosta laterítica sob a forma de paredes irregulares e em degraus no entorno da Lagoa do Amendoim (Figura 13), selecionadas de acordo com suas respectivas relevâncias para este trabalho, em função de apresentarem características que revelam a evolução dos terrenos lateríticos da região, tendo como subsídio a descrições macro e microscópicas, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectrometria de energia dispersiva de raios-x (EDS) acoplada e difração de raios-x.

O estudo da cobertura laterítica no entorno da Lagoa do Amendoim, na Serra Sul dos Carajás-PA, envolveu os seguintes métodos e materiais:

5.1 TRABALHOS DE CAMPO

Foi realizado um levantamento de campo, com mapeamento geológico na área de estudo e análise da distribuição espacial da crosta laterítica detrítica no entorno da Lagoa do Amendoim com o objetivo de selecionar pontos para descrição e amostragem de perfis lateríticos.

Nessa etapa foram feitas descrições das seções geológicas levando-se em consideração suas texturas, estruturas e fácies sedimentares (Figura 14). Para tal utilizou-se um GPS da marca Garmim modelo Map 62s; uma lupa de bolso de 30 x 21 mm; caderneta de campo com folhas impermeáveis do tipo *rite in the rain* e câmera fotográfica digital.

As amostras de rocha foram feitas em todas as cinco seções geológicas, e devidamente acondicionadas e etiquetadas para preparação de material para análises posteriores.

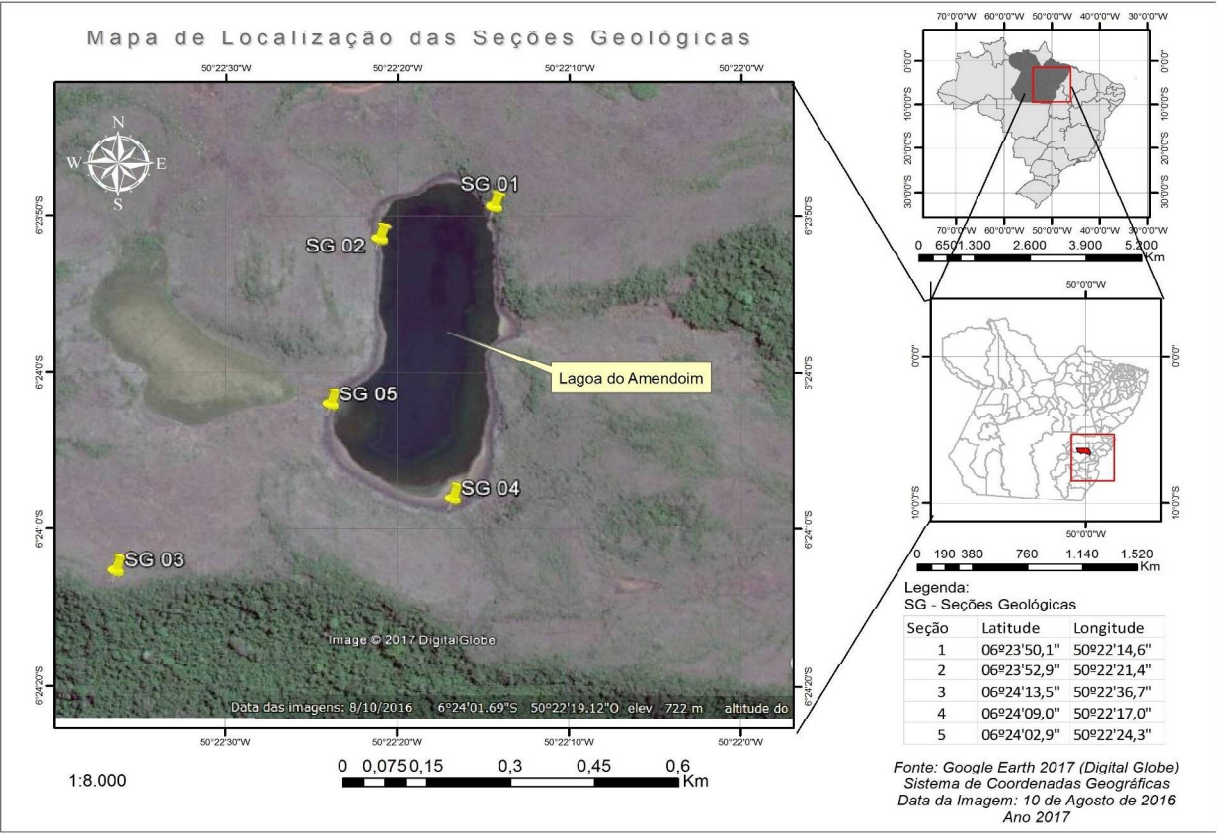


Figure 13: Mapa de localização da Lagoa do Amendoim, Serra Sul de Carajás, contendo a localização das Seções Geológicas descritas na área de estudo.



Figure 14: Descrição da Seção Geológica 2 na margem da Lagoa do Amendoim, sendo abordados os parâmetros texturas, estruturas e fácies sedimentares.

5.2 ESTUDOS MINERALÓGICOS

Os estudos mineralógicos foram realizados através de difração de raios-x com o equipamento *PANalytical diffractometer model TW3040* (de propriedade da do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará) com anodo de cobre ($K\alpha_1 = 0,154 \mu\text{m}$), pelo método do pó e registros obtidos no intervalo de 5° a $75^\circ 2\theta$.

Para essa metodologia analítica foi realizada a preparação de cinco amostras através da pulverização em gral e pistilo de ágata, no laboratório de sedimentologia da UFPA.

5.3 ESTUDOS PETROGRÁFICOS

Foram efetuados estudos macroscópicos com lupa binocular Discovery V8, da marca Zeiss envolvendo descrições texturais, identificação preliminar de

alguns minerais e captura de imagens ressaltando detalhes texturais e estruturais.

Estudos microscópicos de lâminas delgadas em microscópio óptico com luz transmitida e luz refletida (Laboratório de Microscopia do ITV DS; Microscópio Zeiss, modelo Scope.M1) para refinamento da mineralogia e observações de texturas e relações entre fases minerais.

Foram analisadas lâminas delgadas polidas em microscópio eletrônico de varredura no Laboratório de MEV em comodato IG-UFPA/ITV DS; equipamento Sigma VP - Zeiss), utilizando imagens de elétrons secundários e de elétrons retro espalhados.

As imagens de elétrons secundários foram obtidas em um MEV Zeiss modelo SIGMAVP. As condições de operação foram: corrente do feixe de elétrons = 80 μ A, voltagem de aceleração constante = 10 kv, distância de trabalho = 8,5 mm. Nas imagens de elétrons retroespalhados a diferença foi na voltagem de aceleração, com constante = 20 kv.

Para as análises de EDS (energy dispersive spectroscopy) o equipamento utilizado também foi o MEV Zeiss modelo SIGMA-VP com EDS IXRF modelo Sedona-SD acoplado. As condições de operação foram: corrente do feixe de elétrons = 80 μ A, voltagem de aceleração constante = 20 kv, distância de trabalho = 8,5 mm e tempo de contagem para análise dos elementos = 30 s.

Nesta etapa, obtiveram-se espectros EDS e de composições semiquantitativas de fases minerais selecionadas, assim como registro de imagens para interpretação de relações texturais entre fases. Por último a catodoluminescência, realizada no equipamento supracitado, com catodoluminescência Gatan modelo Chroma CL2 acoplada.

6 RESULTADOS

No mapeamento das cinco seções geológicas no entorno da Lagoa do Amendoim, foram encontradas texturas e estruturas sedimentares preservadas na crosta que puderam ser classificadas em 4 fácies sedimentares presentes nos pontos visitados. Essas fácies foram agrupadas como associação de fácies de leques aluviais, adaptado da classificação de litofácies proposta por MIAL (1979; 1996). Assim as fácies são descritas como brecha maciça clasto suportada com imbricação (*Bp*) formada por fragmentos de hematita/magnetita, maiores que dois centímetros, com formato placóide e que estão suportados entre si, sem a presença de matriz; brecha maciça sustentada por matriz (*Bmm*), formado por fragmentos de hematita/magnetita maiores que dois centímetros suportados por matriz argilosa; brecha pisolítica matriz suportada (*Bpm*), composta por fragmentos esferulíticos variando de dois a cinco centímetros, com núcleo formado por fragmentos de hematita/magnetita ou rochas vulcânicas envoltos por anéis de goethita, imersos em matriz fina e brecha estratificada matriz suportado (*Bem*) formado por fragmentos placóides menores que dois milímetros intercalados a esferulitos igualmente pequenos, que estão imersos em uma matriz fina, apresentando granodecrescência ascendente e estratificação cruzada acanalada. Esses tipos texturais estão representados na figura 15.

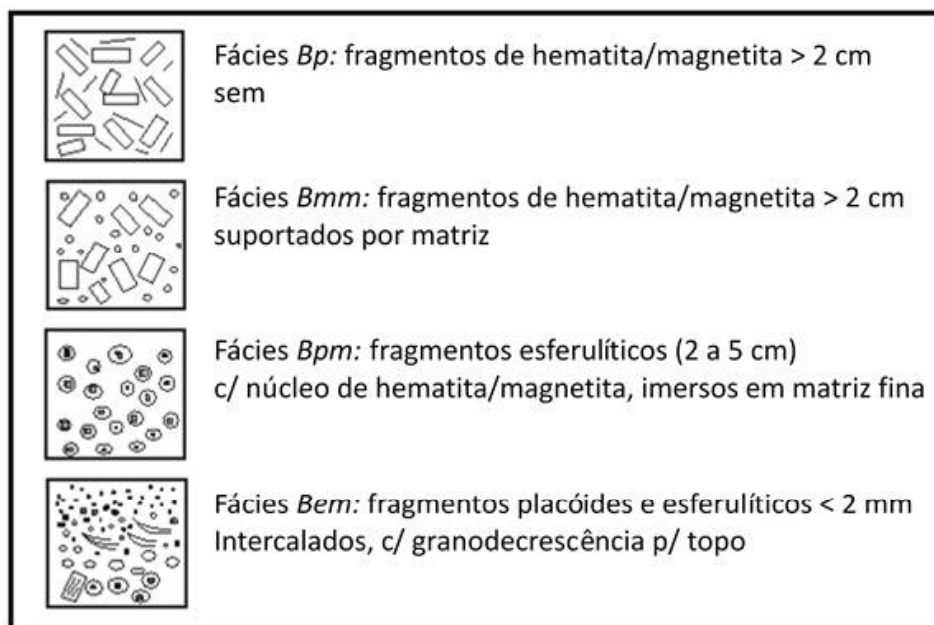


Figure 15: Descrição e representação dos diferentes Tipos Filológicos descritos na área estudada, baseados na proposta de MIAL (1979; 1996).

6.1 SEÇÃO GEOLÓGICA 1

Esta seção ocorre na porção nordeste da Lagoa do Amendoim, formando uma parede de aproximadamente 3,5 metros (Figura 16). Nesta seção, houve uma descrição detalhada por contemplar todos os diferentes tipos faciológicos e texturais que foram acima descritos (Figura 17), e que são de considerável relevância para a compreensão dos processos sedimentares que ocorreram na área e deram origem a essa crosta laterítica. Assim, é aqui considerada essa como seção-tipo da área.

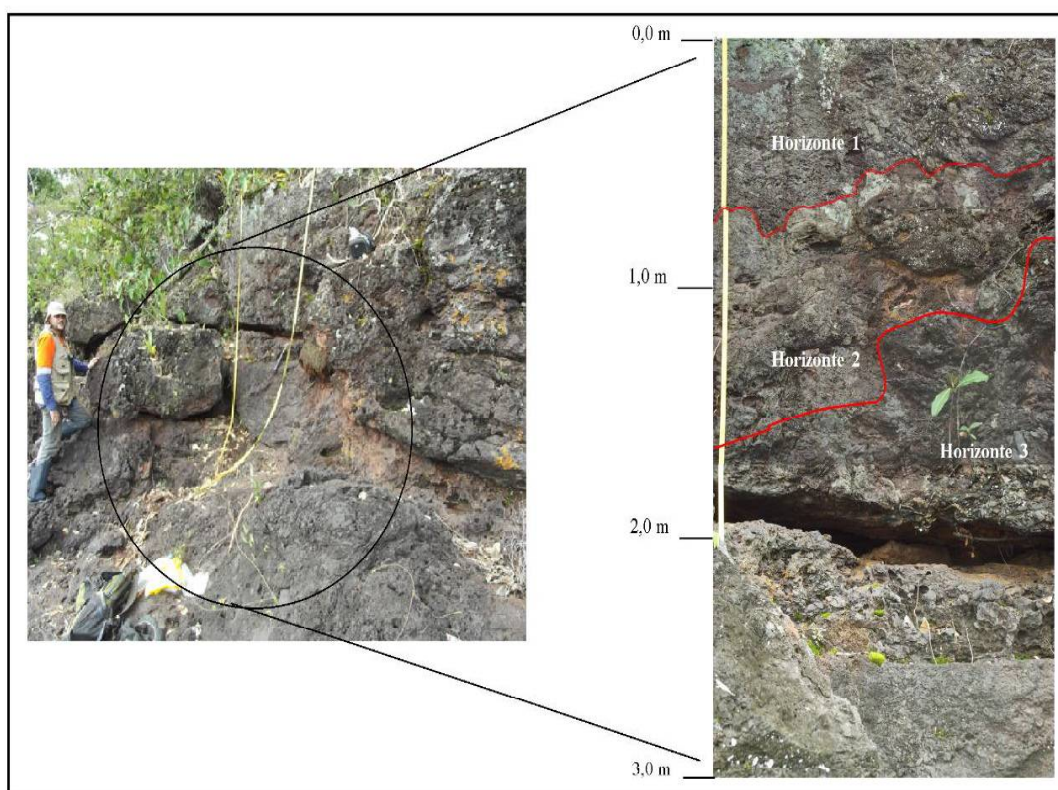


Figure 16: Seção Geológica 1 mostrando os diferentes horizontes e tipos faciológicos Bp, Bpm e Bem da crosta laterítica do entorno da Lagoa do Amendoim.

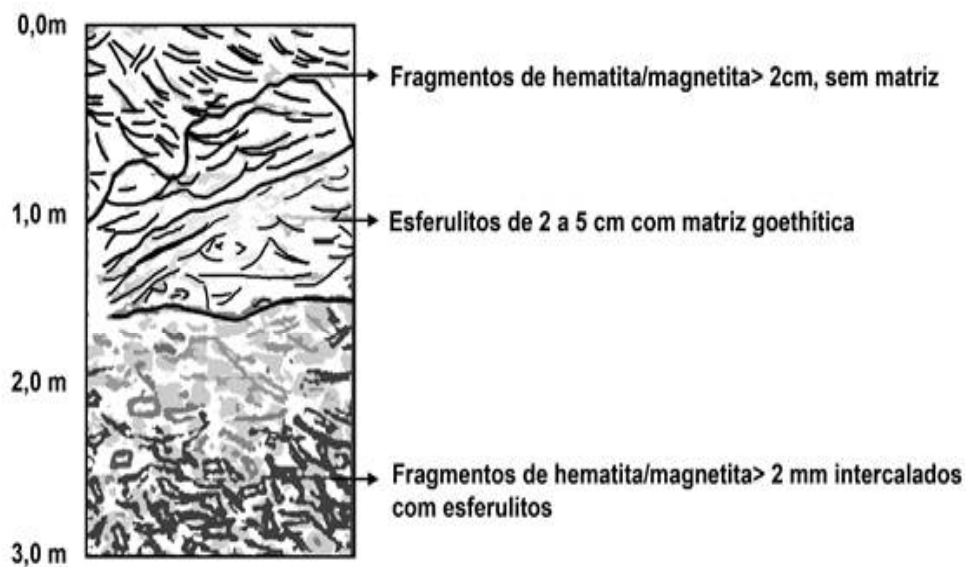


Figure 17: Croqui esquemático da Seção 1. São descritos os diferentes tipos de materiais que compõem a crosta laterítica da área e suas respectivas granulometrias.

Esta seção apresenta três fácies sedimentares distintas, que estão descritas na direção topo-base.

FÁCIES 1

Esta fácies está sobrepondo a sequência, com uma espessura em torno de 1,0 a 1,5 metros. Compreende o tipo faciológico *Cp*, formada por fragmentos de magnetita/hematita maiores que 2 centímetros com formato placóide, compondo uma trama clasto-suportada em que os fragmentos estão soldados uns aos outros por um cimento ferruginoso, não havendo matriz (Figura 18).



Figure 18: Fragmentos placóides da Fácies Bp com tamanho variando de 2 a 5 centímetros e imbricados entre si sem a presença de matriz.

Esses fragmentos têm uma coloração castanho escuro no geral e nas porções intemperizadas variando do castanho avermelhado ao amarelado. Esses fragmentos possuem um acamamento milimétrico residual, em que é possível observar microporosidades. Em alguns planos ou mesmo em camadas dos fragmentos a hematita ocorre de forma especular com um brilho metálico intenso. São observadas ainda algumas cavidades que podem ser milimétricas a centimétricas com suas paredes internas preenchidas, em sua maioria, por cutâns de hidróxido de ferro. Foram observados em fotomicrografia a relação entre os fragmentos de hematita/magnetita, com matriz goethítica muito fina (figura 19).

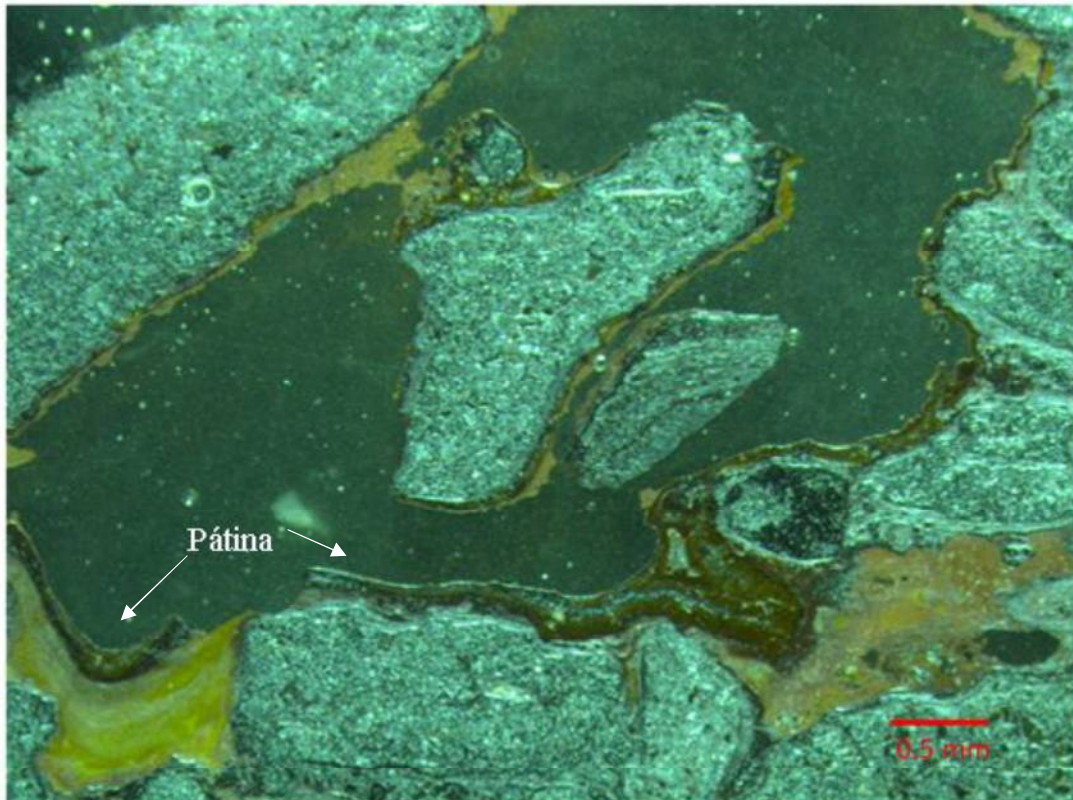


Figure 19: Relação entre fragmentos de hematita/magnetita com pouca matriz muito fina. Observar a formação de pátinas nas bordas dos fragmentos.

Os fragmentos placóides encontram-se embrincados entre si e dispostos em vários ângulos os fragmentos placóides encontram-se embrincados entre si e dispostos em vários ângulos, depósitos semelhantes são descritos por BATISTA et al. (2013) na Formação Cariri, porção Leste da Bacia do Araripe, onde os autores descrevem uma associação de fácies do tipo leques aluviais composta por conglomerados maciços clasto suportados. Os fragmentos são moderada a fortemente magnéticos, o que evidencia a presença de magnetita associada a hematita. A figura 20 revela a imbricação entre os clastos placóides, em que é possível observar alguns fragmentos se tangendo, tal como observamos em escala macroscópica, e outros separados pela matriz goethítica. Existem também clastos hematíticos bem menores, milimétricos, imersos na matriz e ocupando os interstícios entre os fragmentos maiores com formas alongadas a subarredondadas.

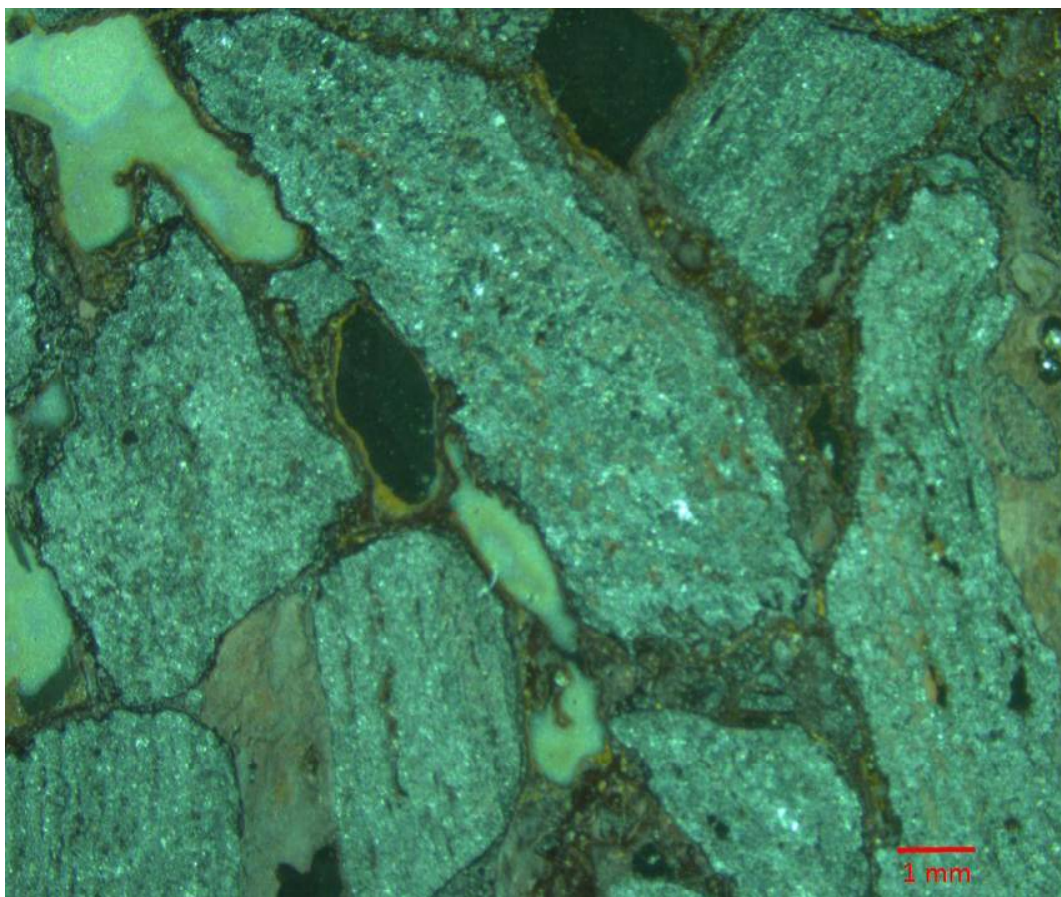


Figure 20: Lâmina delgada de uma porção da crosta laterítica da Seção Geológica 1, representando a fácies Cp. Notar fragmentos placóides que estão tangendo-se e outros separados por matriz fina microscópica.

A matriz apresenta um zoneamento, com intercalação de zonas milimétricas a submilimétricas de coloração variando do amarelo ao creme ou do castanho ao marrom claro.

Análises de EDS dos clastos e da matriz indicam tratar-se respectivamente de óxido e hidróxido de ferro, isto é, hematita e goethita (Figura 21). A figura 22 apresenta um difratograma de uma amostra representativa da Fácies 1 que contém apenas hematita e goethita.

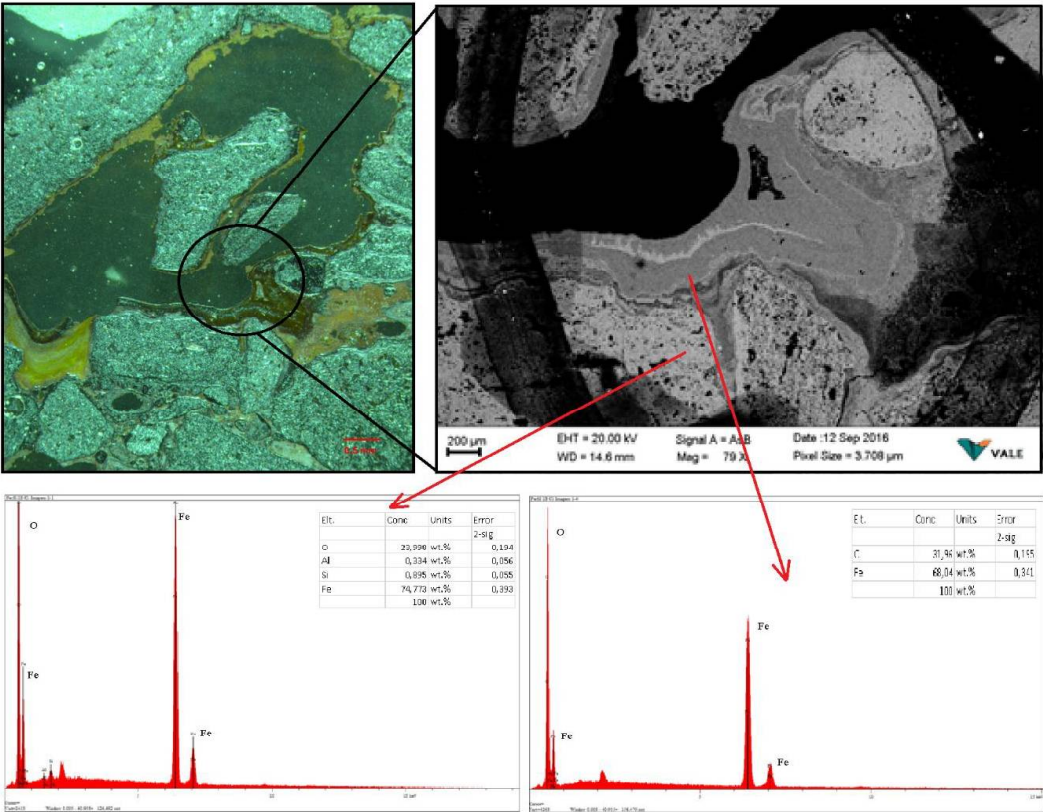


Figure 21: Informações de fragmentos placóides de hematita. Na porção superior da esquerda para direita fotomicroscopia e imagem de MEV, porção inferior da esquerda para direita análise de EDS de um fragmento placóides e de um cimento goethítico de segunda geração.

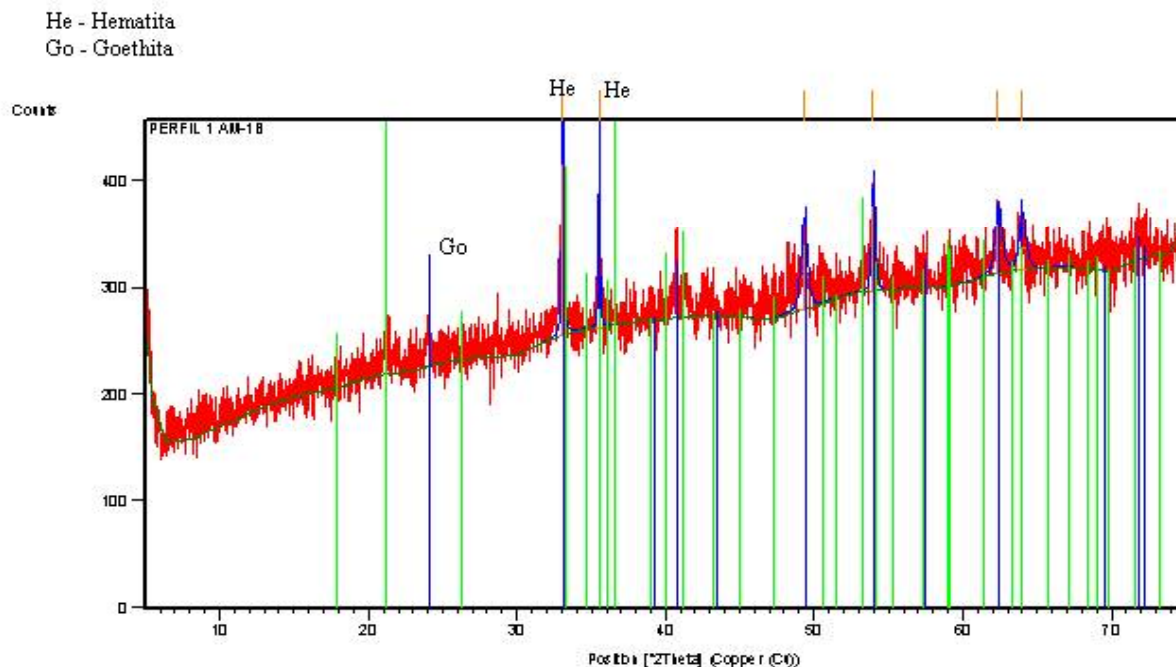


Figure 22: Difratograma de uma amostra representativa da Seção Geológica 1 revelando apenas picos de hematita e goethita.

FÁCIES 2

Esta fácies comporta o tipo *Bpm*, que é constituída por esferulitos ferruginosos de diâmetro variando de 2 a 5 centímetros, imersos em matriz fina de composição possivelmente goethítica e coloração amarelada. Mesmo com predominância dos esferulitos, existem fragmentos placóides milimétricos de hematita/magnetita.

Os esferulitos apresentam uma nucleação formada por fragmentos de crosta laterítica ferruginosa. É possível observar ainda que esses núcleos estão preservados, com seus contornos bem definidos, ou em alguns casos corroídos. Nas bordas ocorre uma deposição de camadas de forma descontínua no entorno de um fragmento formando anéis, ou pátinas, de coloração amarelada ou marrom.

Nesta fácies é relevante a observação da coexistência dos fragmentos esferulíticos e clastos angulosos a subangulosos também imersos na matriz fina. Esses fragmentos, esferulíticos e angulosos, são mal selecionados. Foram observadas sets desse material separadas por linhas irregulares caracterizando

a presença de biofilmes pela atividade de bactérias associadas a formação da crosta laterítica (LEVETTI, 2016) (Figura 23).

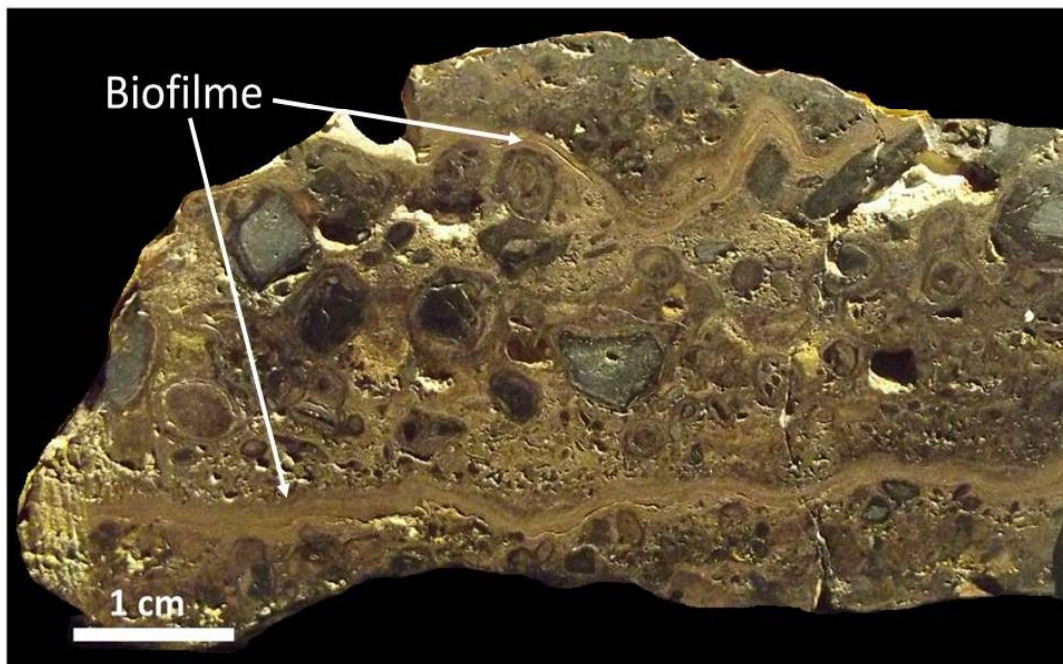


Figure 23: Presença de biofilmes marcando diferentes sets.

Em escala petrográfica as linhas de contorno dos esferulitos nem sempre se apresentam contínuas, por vezes estão truncadas conferindo-lhes um aspecto irregular ou até mesmo corroído (Figura 24).

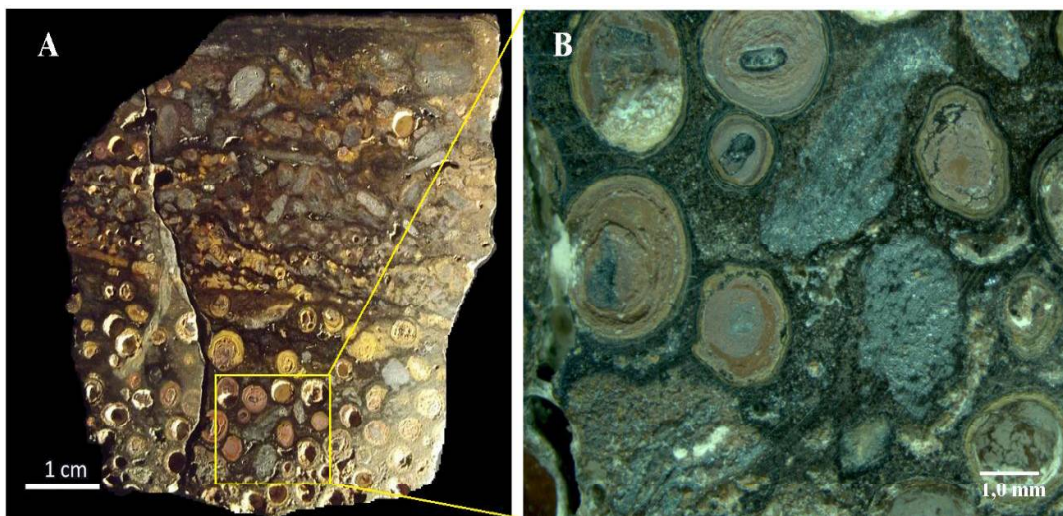


Figure 24: Esferulitos envolvidos em linhas de contorno descontínuas. Em A escala macroscópica, em B escala petrográfica.

As pátinas comportam-se de forma irregular, exibindo contatos bem definidos, sugerindo que algumas partes foram arrancadas e substituídas formando um contato abrupto, ou difuso, revelando que a pátina foi assimilada pela matriz (Figura 25).

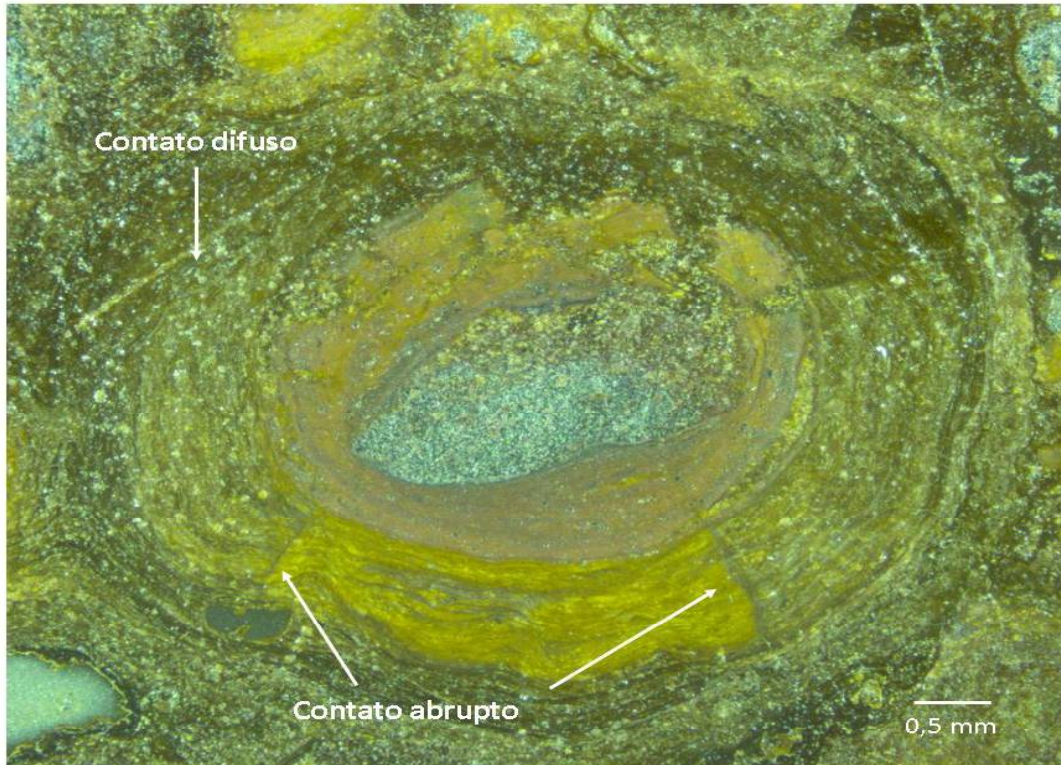


Figure 25: Esferulito com núcleo de hematita/magnetita e borda formada por camadas muito finas de goethita formando pátinas.

Em análise de EDS, ocorre apenas a presença de óxido e hidróxido de ferro no contato do núcleo com as bordas dos esferulitos. Assim, podemos inferir tratar-se de fragmentos de hematita/magnetita no núcleo e goethita nas linhas que formam as pátinas (Figura 26).

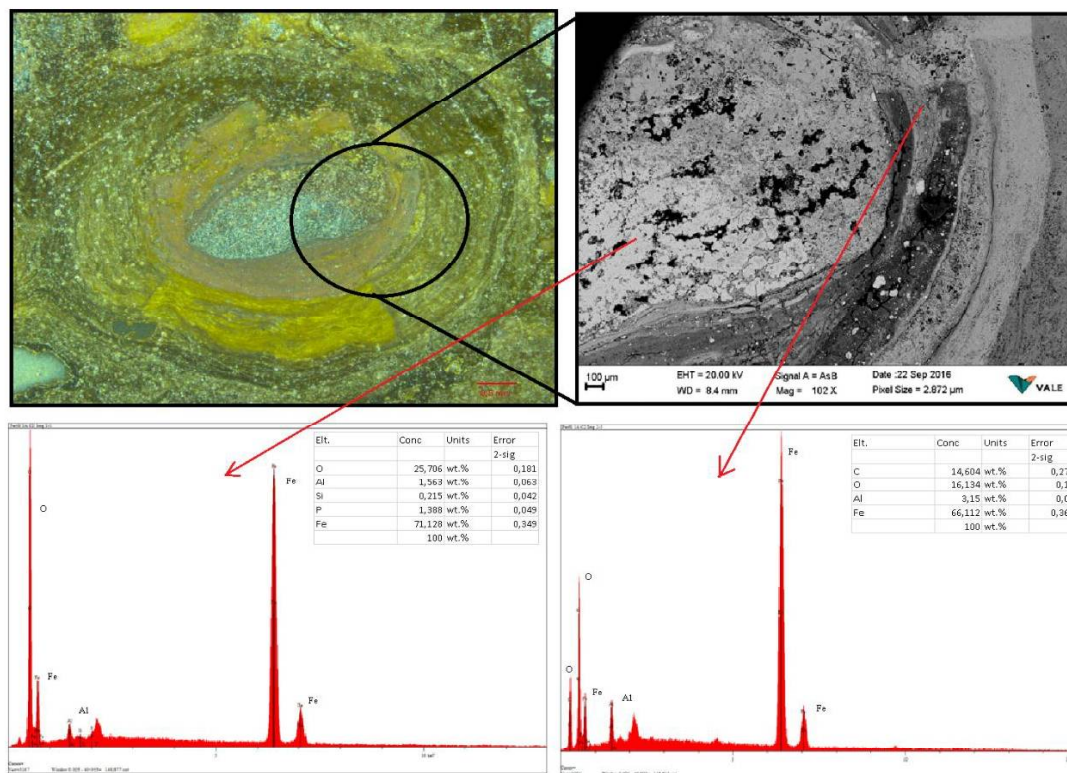


Figure 26: Esferulito com núcleo de hematita/magnetita e borda formada por camadas muito finas de goethita formando pátinas.

A matriz é constituída por óxido e hidróxido de ferro, em partículas muito finas, conferindo-lhe uma coloração que varia do amarelado ao marrom acastanhado. Em análise petrográfica, a matriz apresenta fragmentos desmantelados das pátinas, que estão bem delineados sendo nítida a presença de zoneamento, e suas formas convexas deixam claro tratar-se de porções que se desprenderam de esferulitos durante o processo de transporte (Figuras 27 e 28).

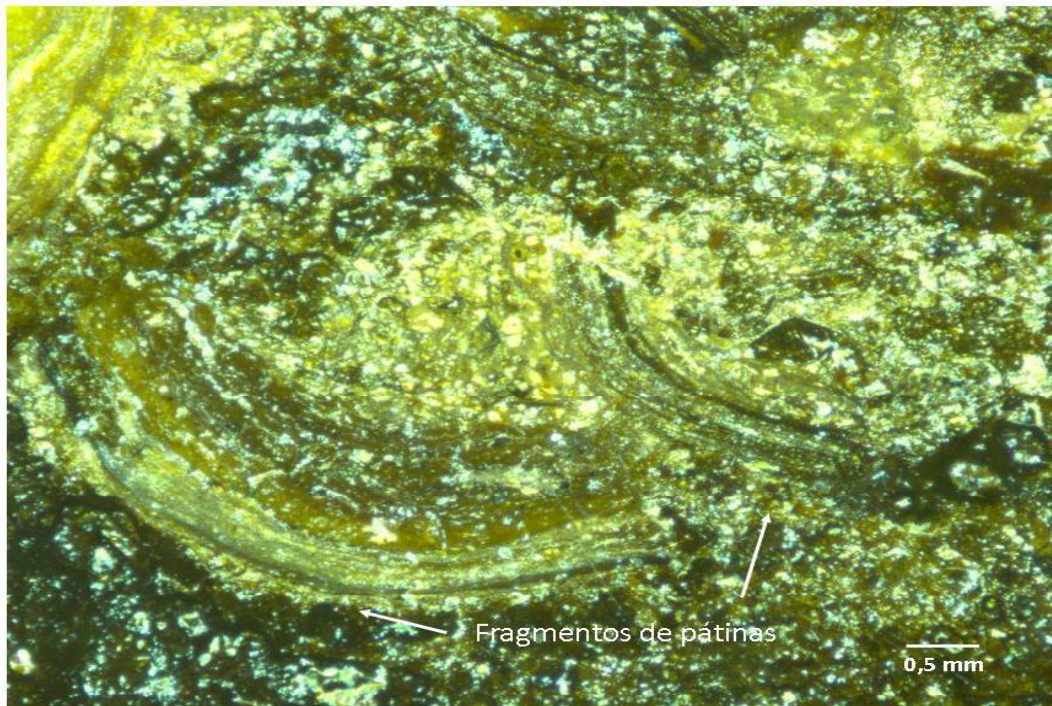


Figure 27: Vários fragmentos de pátinas imersos na matriz.

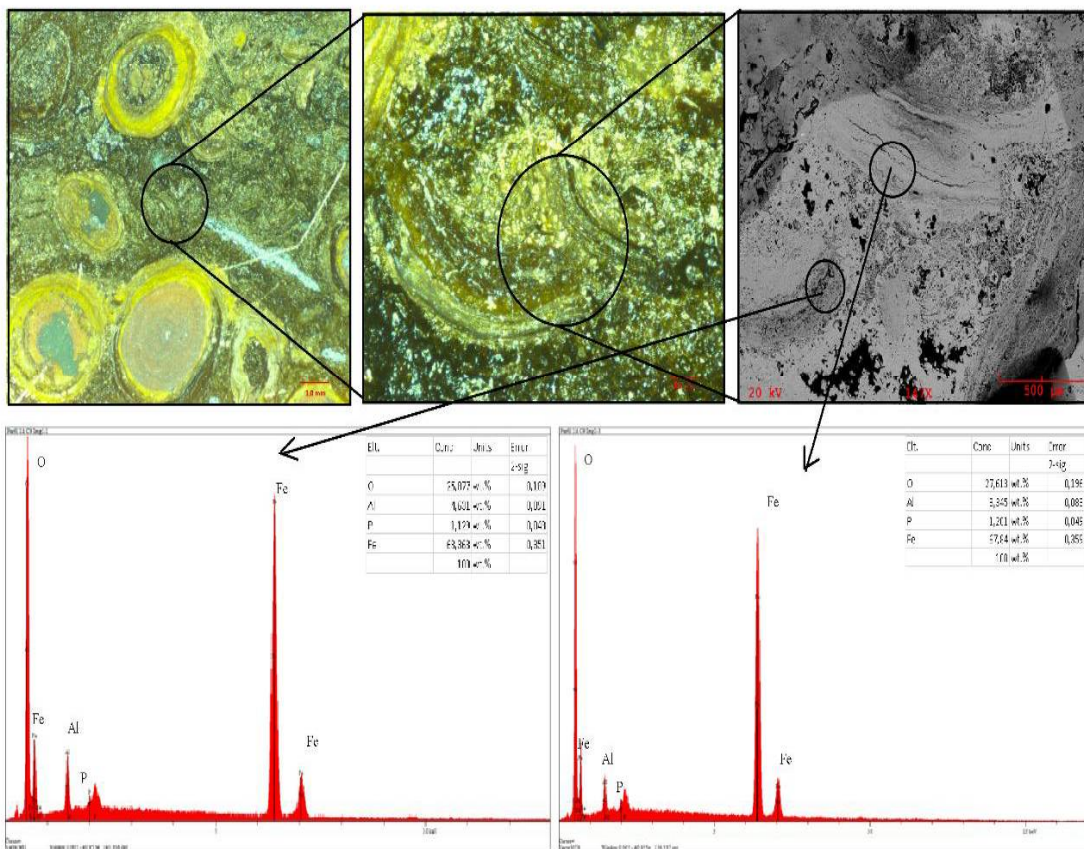


Figure 28: Prancha com imagens da matriz entre os esferulitos. Na porção superior da esquerda para a direita fotomicroscopia panorâmica, em detalhe e imagem de MEV. Na porção inferior duas análises de EDS em porções das pátinas.

FÁCIES 3

A *fácies 3* é formada por uma junção dos tipos faciológicos acima descritos, onde é possível notar que ocorrem fragmentos placóides, porém menores que os anteriores, associados a esferulitos ferruginosos. Esses estão imersos em matriz ferruginosa fina, equivalente ao tipo faciológico *Bem*, brecha estratificada matriz suportada.

Essa *fácies* reflete um processo sedimentar de variações de energia ao longo do período de transporte e sedimentação, visto que em descrição macro e microscópicas são observadas mudanças de granulometria, formando uma granodecrescência ascendente (Figura 29 e 30). Os clastos são individualizados por linhas de contato de coloração escura, em geral amarronzadas a castanhos, constituídas de goethita.

Os esferulitos apresentam um núcleo formado por fragmento de hematita/magnetita (Figura 31), podendo ser homogêneos, formados apenas por óxido de ferro ou apresentarem um núcleo composto por fragmentos de laterita envoltos em matriz argilosa (Figura 32). Os fragmentos ferruginosos estão corroídos ou mantêm suas formas originais, ocorrendo normalmente envoltos em anéis de goethita.

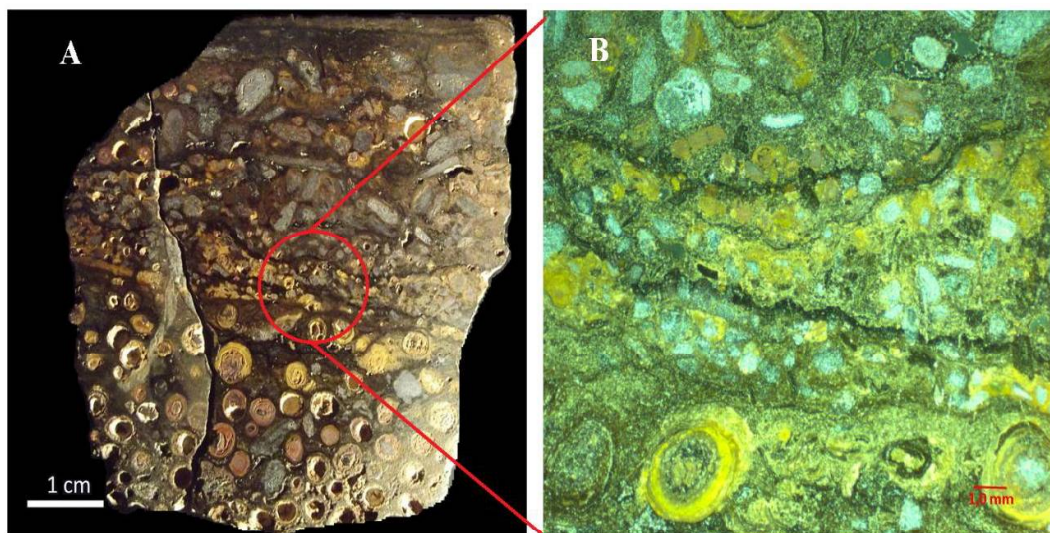


Figure 29: Linhas marcando contatos entre diferentes texturas da *fácies 2*, em (A) escala macroscópica, (B) escala petrográfica.

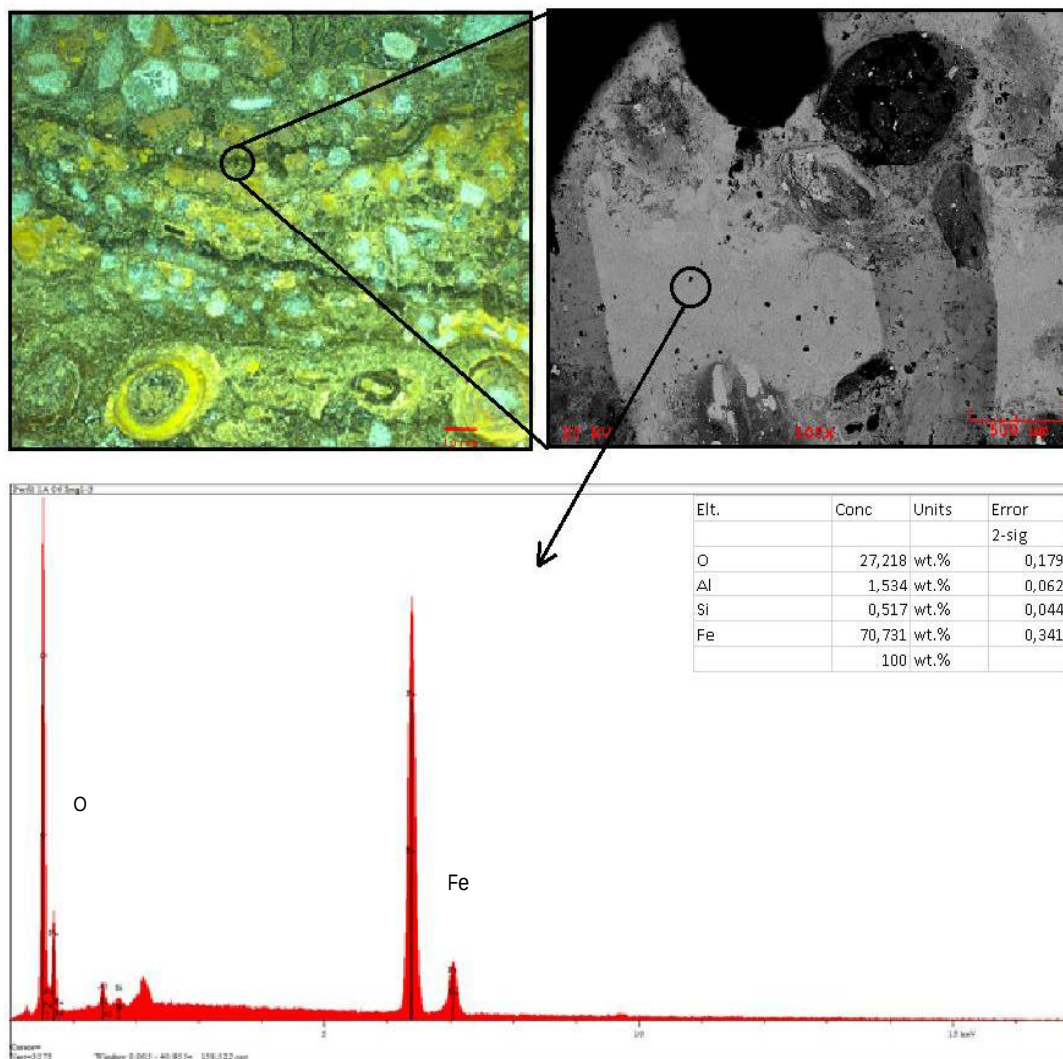


Figure 30: Prancha mostrando o córtex que separa duas camadas com granulações distintas. Na porção superior da esquerda para a direita fotomicroscopia e imagem de MEV. Na porção inferior duas análises de EDS.

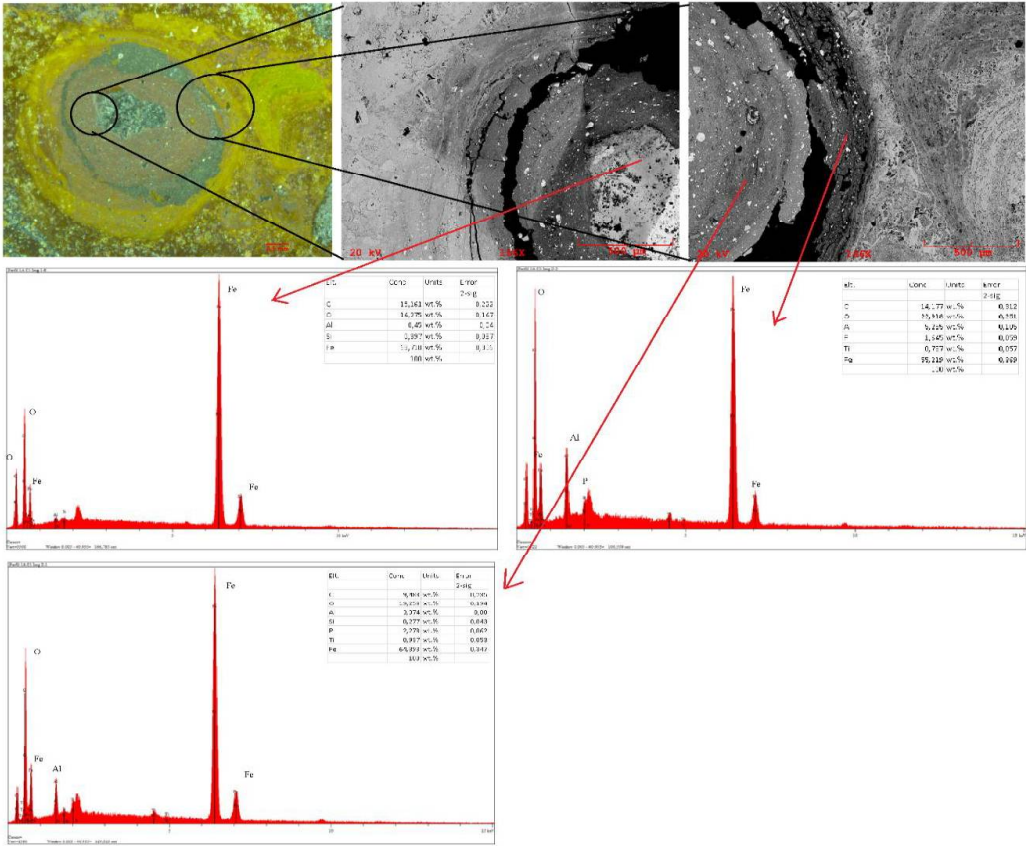


Figure 31: Fotomicroscopia, MEV e EDS de esferulito contendo núcleo formado por fragmento de hematita/magnetita e na borda anéis concêntricos de goethita.

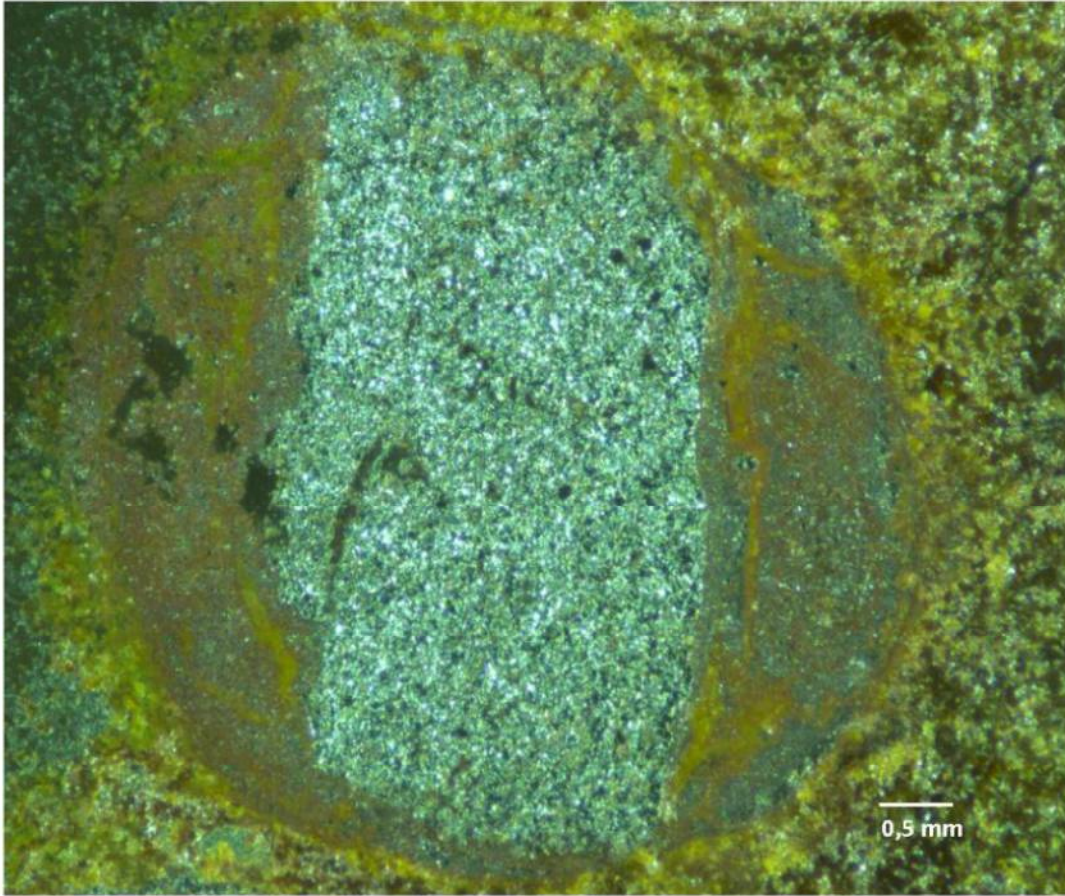


Figure 32: Fotomicrografia de esferulito com núcleo formado por fragmento hematítico/magnetítico envolto em matriz argilosa.

6.2 SEÇÃO GEOLÓGICA 2

Esta Seção está situado na margem Noroeste da Lagoa do Amendoim, no lado oposto a Seção 1, com exposição de 4,20 metros de altura.

Neste ponto são descritas duas fácies distintas, semelhantes às da seção anterior (Figura 33).

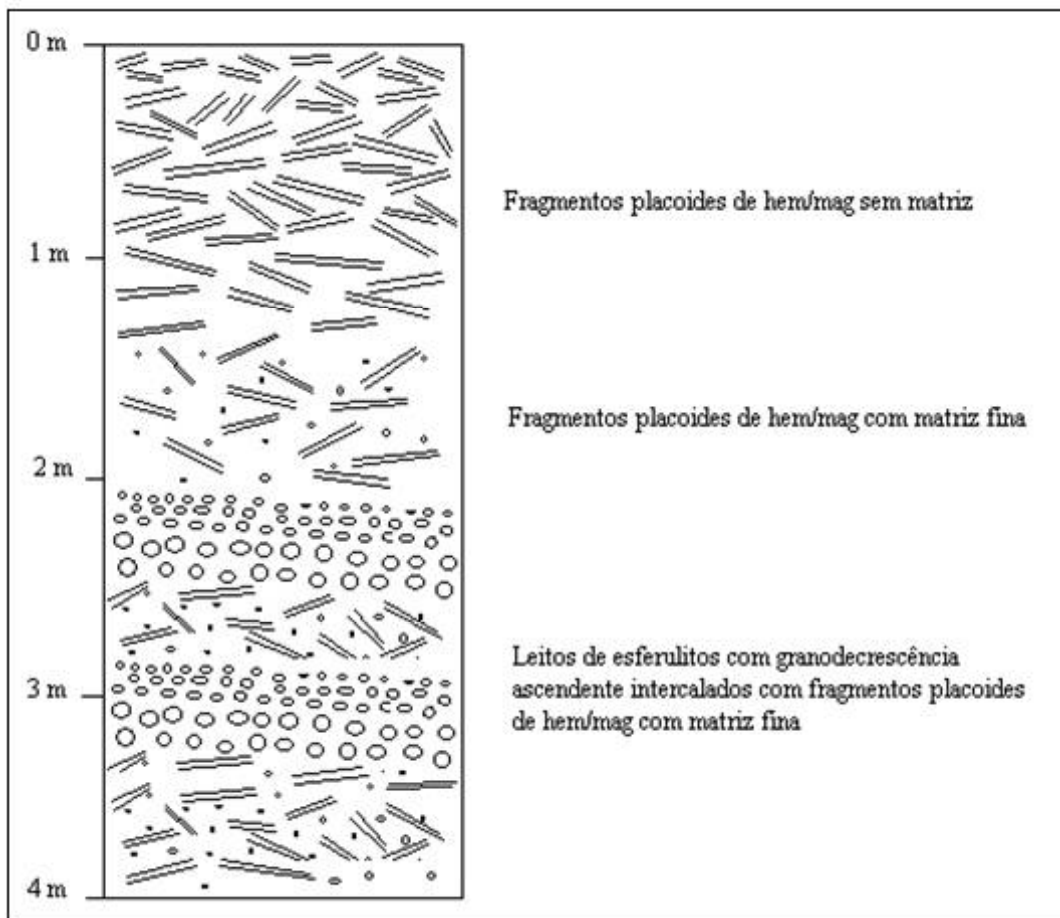


Figure 33: Croqui esquemático da Seção Geológica 2.

FÁCIES 1

Esta fácies ocorre do topo até uma espessura de 1,20 metro. Constituída por fragmentos placóides de hematita/magnetita maiores que dois centímetros suportados entre si, sem matriz, equivalendo ao tipo faciológico *Bp* da classificação de MIALl op cit. Apenas em análise petrográfica e MEV, foi encontrada a presença de uma matriz goethítica muito fina entre os fragmentos. Essa matriz tem coloração em tons de marrom variando entre claro e escuro, tratando-se de alternância de fases de exposição em um ambiente mais seco, marrom escuro, e mais úmidos, marrom claro (Figura 34). Podem ocorrer porções formadas a partir de fragmentos menores de hematita/magnetita que sofreram transporte e foram aderidas a argila formando um único fragmento, que nem sempre apresenta uma forma arredondada, pois durante o processo de

formação ou transporte essa massa de argila + fragmentos sofreu esforço de compressão por parte dos fragmentos maiores (Figura 35).

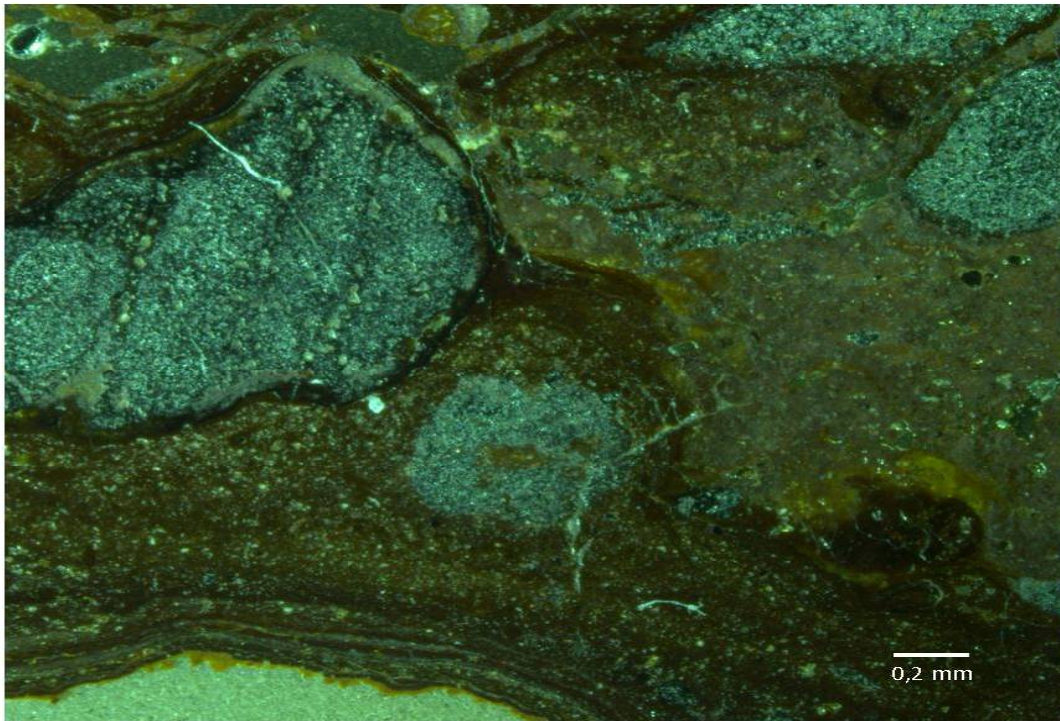


Figure 34: Matriz fina envolvendo os fragmentos de hematita/magnetita de coloração alternando de marrom a marrom escuro.

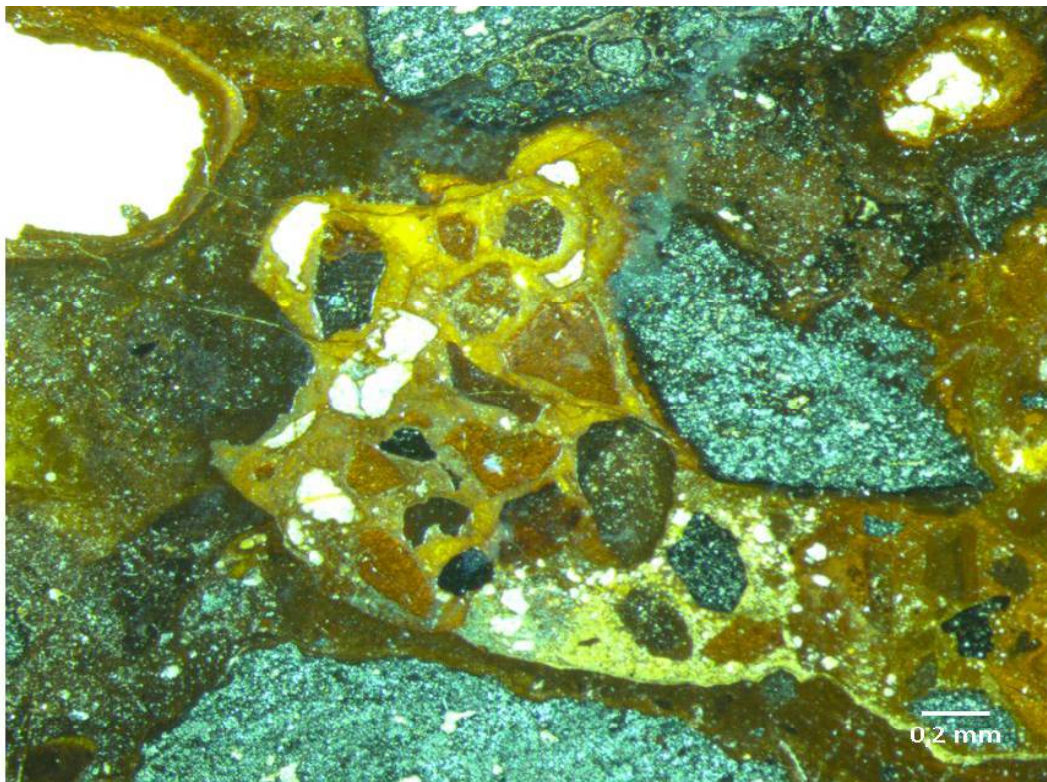


Figure 35: Fragmento formado a partir de fragmentos menores de hematita/magnetita e rocha vulcânica imersos em argila.

Análises de MEV e DRX revelaram a presença apenas de óxi-hidróxido de ferro, hematita e goethita, compondo os fragmentos e a matriz, sendo que essa última só pode ser observada em análise microscópica (Figuras 36 e 37).

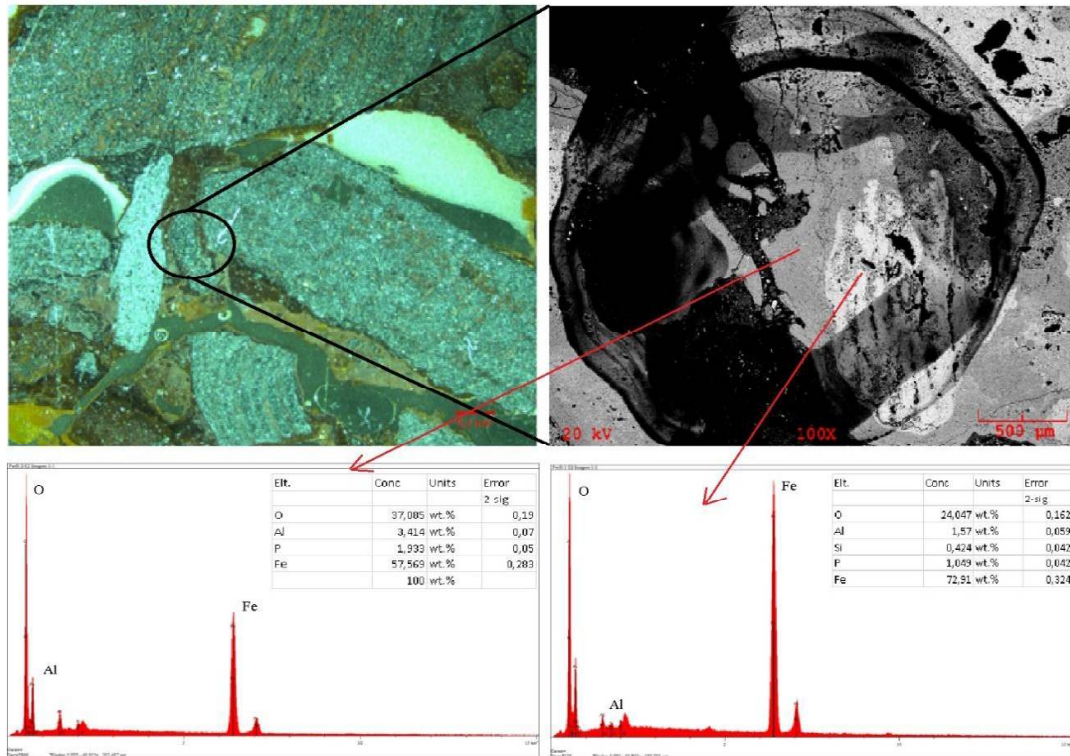


Figure 36: Prancha contendo imagens da Fácies 1 da Seção Geológica 2. Na porção superior à esquerda fotomicrografia, a direita imagem de MEV, na porção inferior a esquerda análise EDS da matriz ferruginosa e na direita do fragmento hematítico/magnetita.

Seção Geológica 2

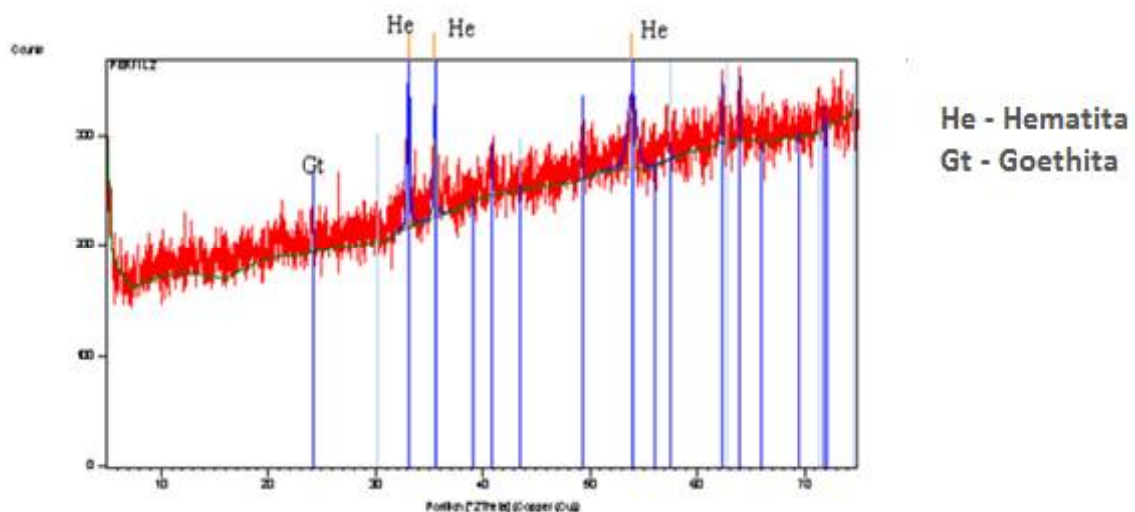


Figure 37: Difratoograma de raios x da Fácies 1 da Seção Geológica 2, onde é possível observar picos de hematita, em sua maioria, e goethita.

FÁCIES 2

Essa fácies, do topo para a base, é representada por sequências intercaladas de fragmentos placóides maiores que dois centímetros de hematita/magnetita e leitos de esferulitos ferruginosos de diâmetro variando de dois a cinco milímetros, equivalente ao tipo faciológico *Bem* modificado de MIALLOP *op cit.*

Nos leitos centimétricos de esferulitos, aqui denominados lentes, que se intercalam aos fragmentos placóides é possível observar a existência de granodecrescência ascendente.

Os contatos indicam claramente que houveram vários eventos deposicionais marcando as fácies de granulação mais grossa intercalados as de granulação mais finas (Figura 38).

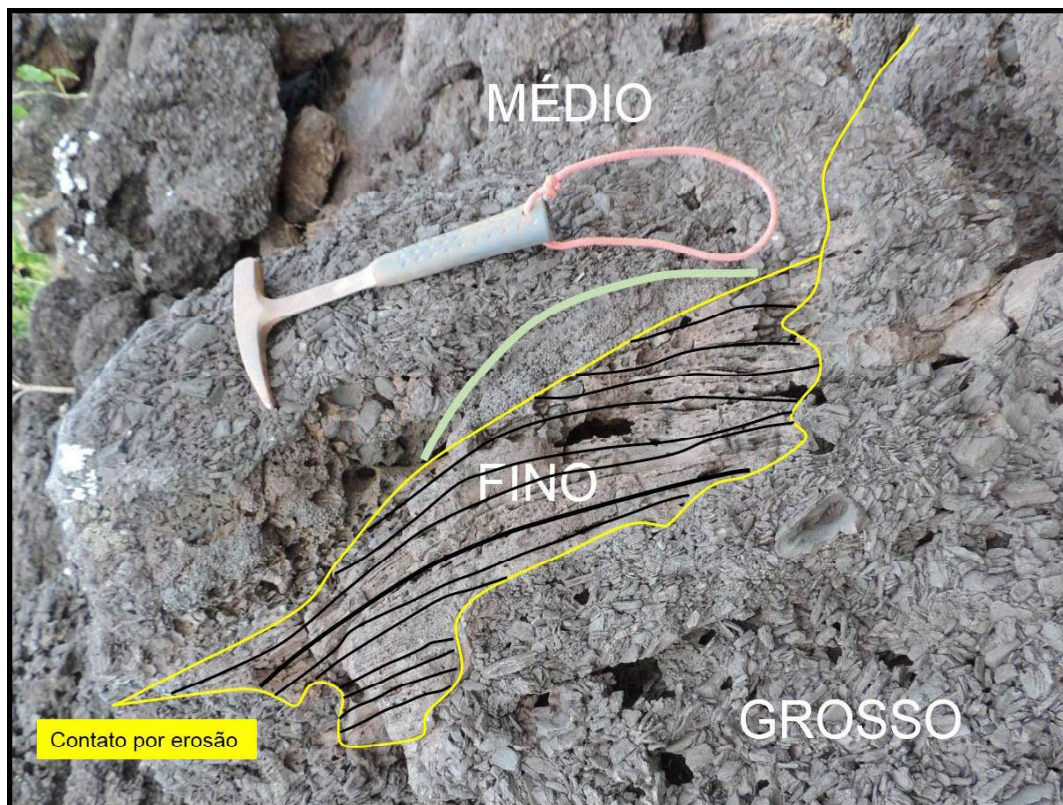


Figure 38: Contato revelando megamarcas onduladas. Observar a relação entre camadas de material grosso, médio e fino. Fonte: Clóvis Maurity.

Em análise petrológica são observados fragmentos imersos em matriz semelhante as fácies descritas anteriormente, onde ocorrem linhas de contorno definindo mudanças de coloração variando do marrom ao marrom escuro (Figura 39).

Nas porções mais ferruginosas da matriz existe uma diferenciação de óxido para hidróxido de ferro, na qual este último tende a ocorrer com uma coloração mais amarelada.

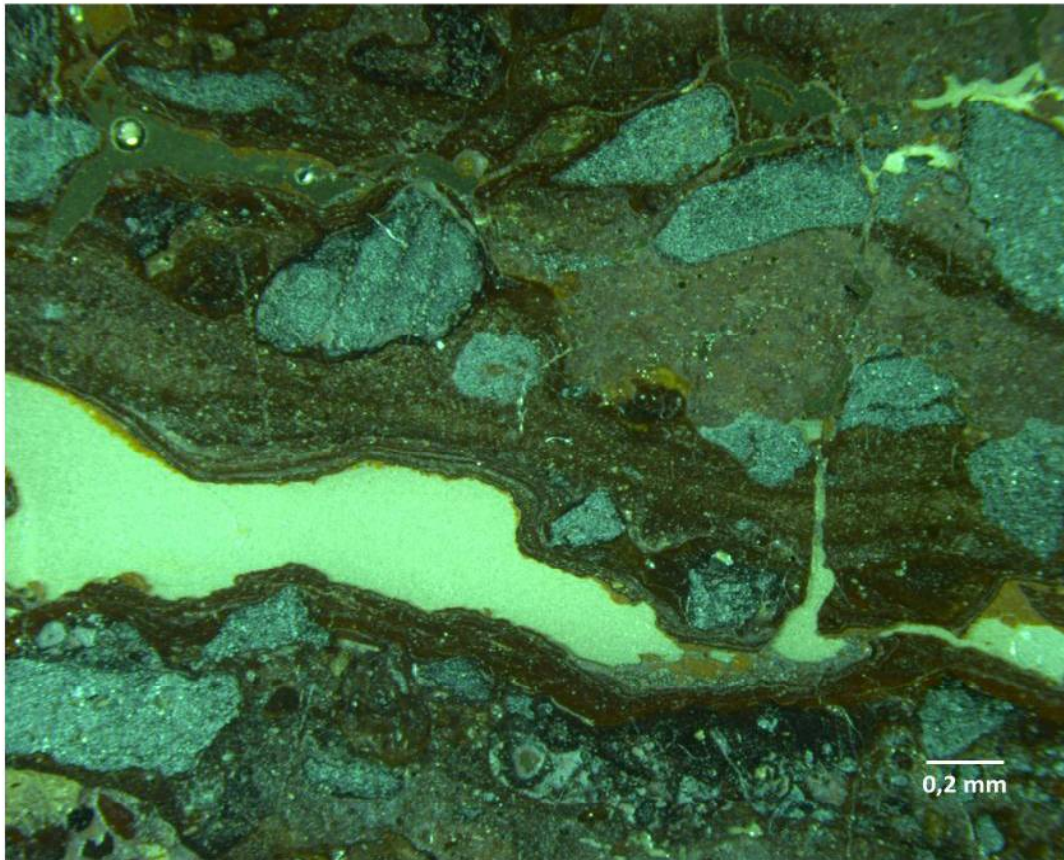


Figure 39: Fotomicrografia de uma porção da Fácies 3 da Seção Geológica 2. Notar a diferenciação zonada da matriz.

6.3 SEÇÃO GEOLÓGICA 3

A Seção Geológica 3 encontra-se a aproximadamente 550 metros a Sudoeste da Lagoa do Amendoim. Nesse ponto foram observadas afloramentos

de porções do minério de ferro, em meio a um ambiente dominado pela crosta laterítica.

A crosta laterítica apresenta, em análise petrográfica, fragmentos de hematita/magnetita separados por matriz goethítica muito fina.

A matriz pode apresentar ainda porções contendo micro fragmentos de clastos, ocorrendo assim como nas seções anteriormente descritas, a variação de coloração na matriz com linhas de coloração variando do marrom ao castanho, conferindo-lhe um aspecto zonado. Podem ser observados ainda esferólitos, com diâmetro em torno de um milímetro, formados por agregado de grãos menores de laterita que foram envoltos em argila. Esses grãos apresentam contornos bem definidos por uma linha de coloração marrom escura (Figura 40).

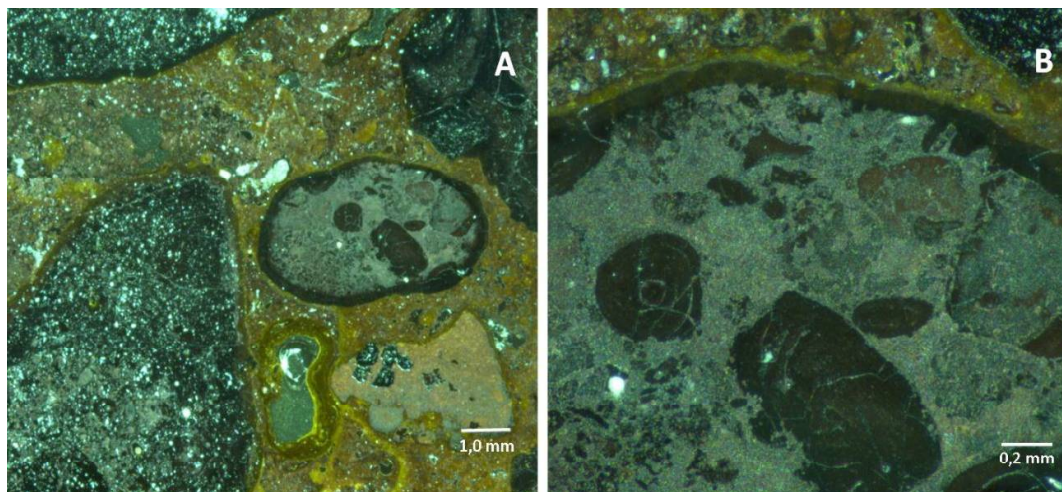


Figure 40; Micrografia mostrando (A) grão imerso na matriz formado por agregado de grãos menores de laterita envoltos por argila, e em (B) o mesmo grão em detalhe.

Em análises de EDS, os grãos milimétricos, revelaram-se compostos por óxido e hidróxido de ferro, contendo pouco alumínio e silício (Figura 41) e em difração de raios-x de uma amostra não fracionada, ocorrem apenas hematita e goethita (Figura 42).

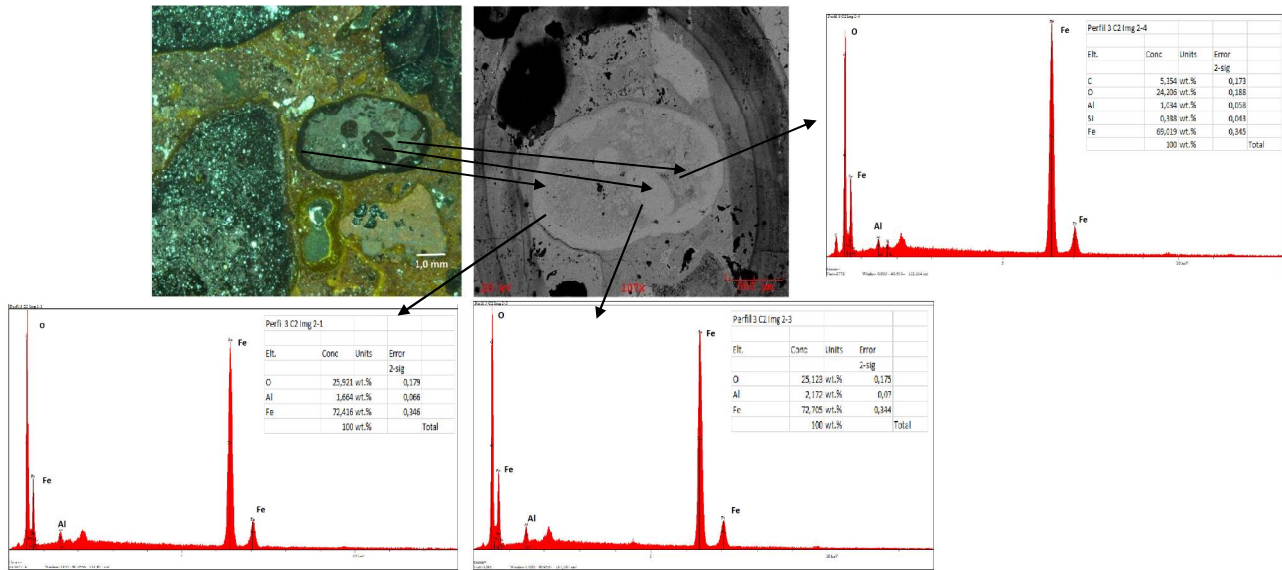


Figure 41: Prancha contendo informações da crosta laterítica Seção Geológica 3. Na porção superior à esquerda fotomicrografia, a direita imagem de MEV, na porção inferior análise EDS de um fragmento ferruginoso envolto por matriz argilosa.

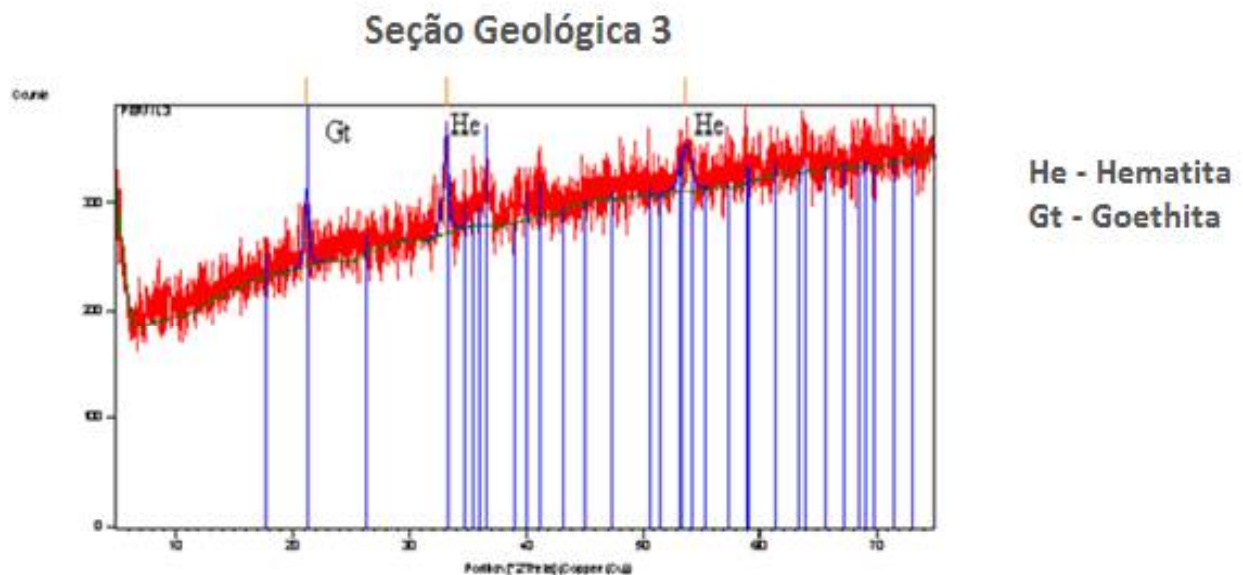


Figure 42: Difratoograma de raios x da Seção Geológica 3, onde é possível observar apenas picos de hematita e goethita.

6.4 SEÇÃO GEOLÓGICA 4

Esta seção ocorre em uma encosta na margem Sul da lagoa do Amendoim, onde ocorrem fragmentos de hematita/magnetita de dimensão variando de dois a cinco centímetros, suportados por uma matriz ferruginosa fina, contendo pisólitos ferruginosos milimétricos também suportados por matriz, equivalendo ao tipo faciológico *Cem* de MIALL op cit.

Existem estruturas de plano de deslizamento em pequena escala, que se entrelaçam entre si, formando *sets* de camadas de espessuras centimétricas (Figura 43).

Em análise petrográfica, observa-se que a matriz é formada por uma porção muito fina contendo fragmentos provenientes do dismantelamento de crosta lateríticas ferruginosas e ocorrem ainda fragmentos subangulosos a subarredondados com diâmetro em torno de 0,2 a 0,5 mm ou fragmentos de crosta laterítica imersos em argila que formando um fragmento único (Figuras 44 e 45).

A análise difração de raios-x de uma amostra não fracionada revelou a presença apenas de hematita e goethita (Figura 46), enquanto que as análises de MEV e EDS confirmaram que os fragmentos maiores são formados por óxido de ferro e as pátinas têm a mesma composição (Figura 47).



Figure 43: Seção Geológica 4 revelando planos de deslizamento e diferentes atitudes dos "sets" de sedimentação. Em (A) imagem real, em (B) imagem interpretada.

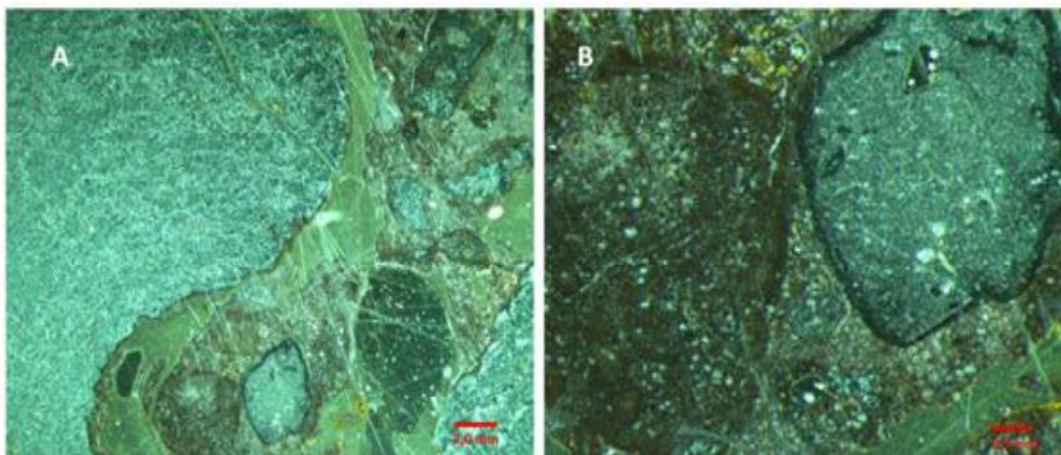


Figure 44: Fotomicrografia de uma amostra da Seção Geológica 4, em (A) relação entre fragmentos e a matriz, em (B) detalhe dos fragmentos e em (C) Grão formado por grãos menores de crosta laterítica.

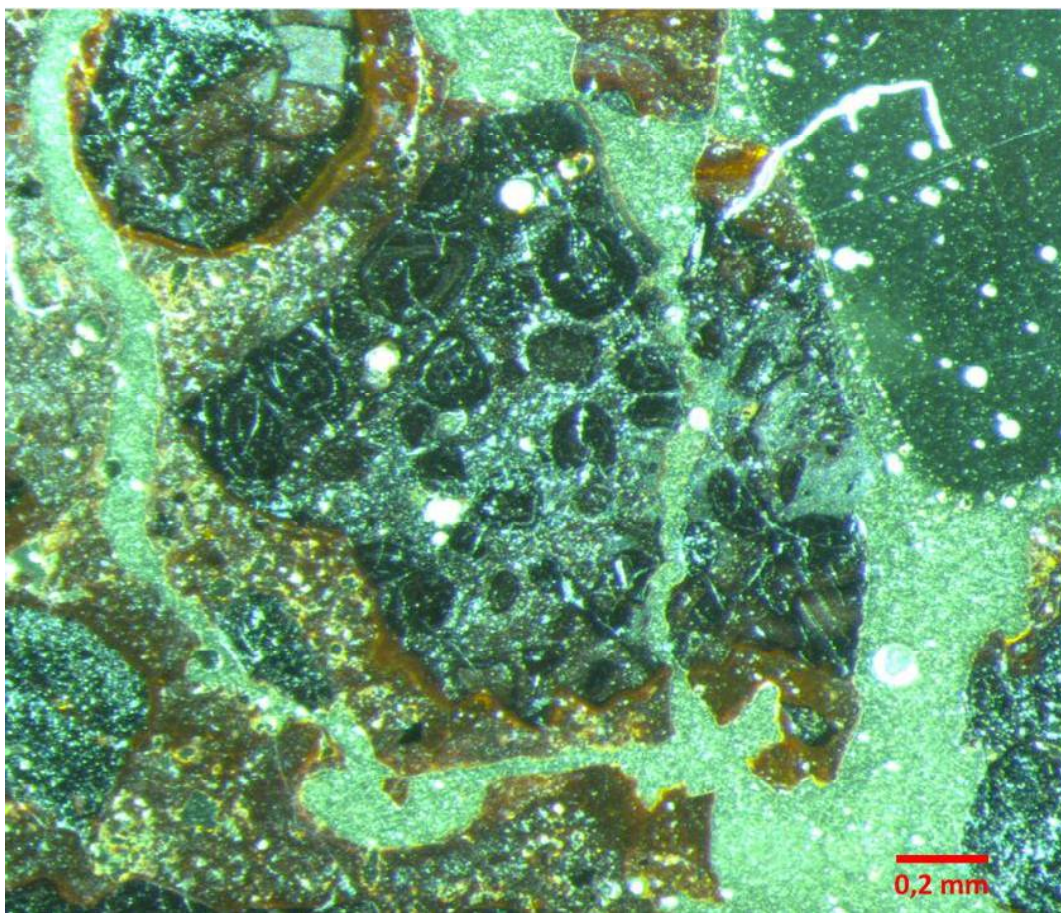


Figure 45: Grão subarredondados a subangulosos formado por fragmentos milimétricos aderidos pela argila que estão dispersos na matriz e encapsulados por pátina de coloração variando do marrom ao castanho.

Seção Geológica 4

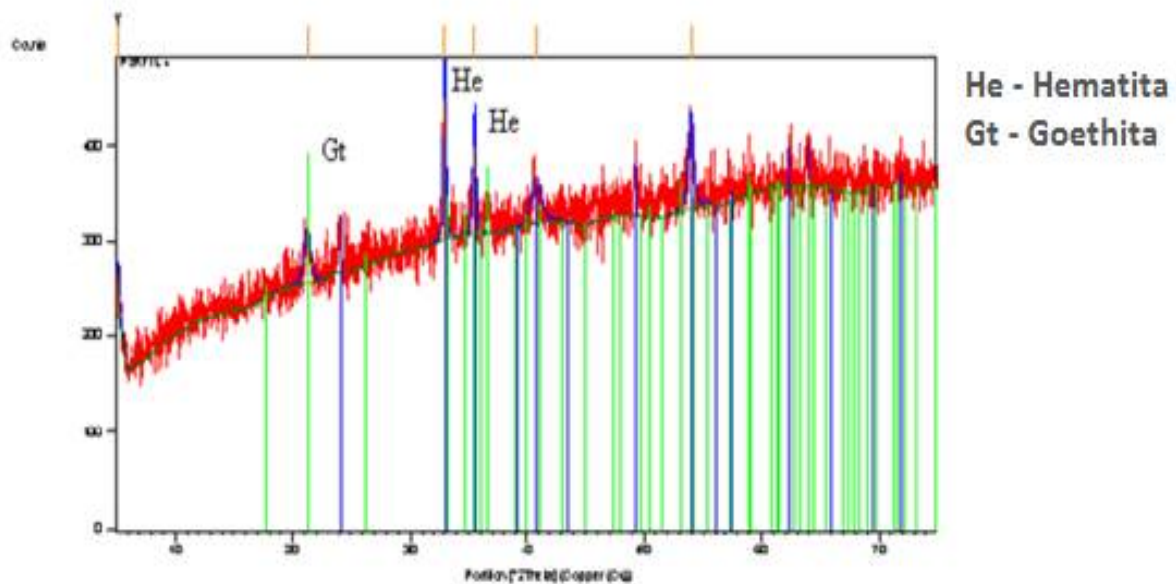


Figure 46: Difratoograma da Seção Geológica 4. Nela podemos observar apenas picos de hematita e algum pico de goethita.

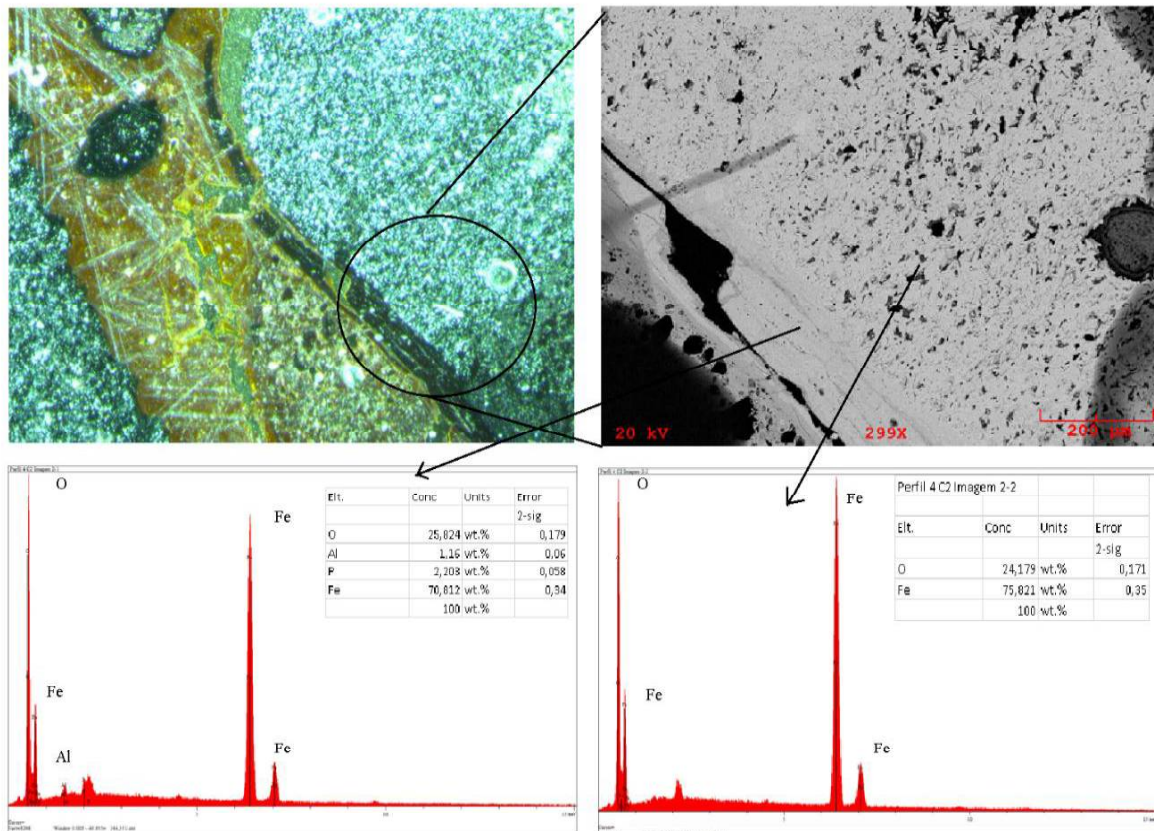


Figure 47: Prancha com imagens de micrografias da crosta laterítica Seção Geológica 4. Na porção superior à esquerda fotomicrografia, a direita imagem de MEV, na porção inferior análise EDS de um fragmento ferruginoso envolto por pátina goethítica.

6.5 SEÇÃO GEOLÓGICA 5

Situado na margem Sudoeste da Lagoa do Amendoim. Essa seção é formada por fragmentos ferruginosos de várias formas e granulometrias, como já descrito nas seções anteriores. São fragmentos placóides com tamanho variando de dois a cinco centímetros intercalados ou misturados a fragmentos pisolíticos milimétricos, equivalendo as fácies *Bmm* e *Cem* adaptadas de MIALLOP *op cit.* A matriz é muito fina, sobressaindo-se mais na porção mediana do afloramento e ausente no topo, em que os clastos placóides são suportados (Figura 48). Nesse local fica muito clara a presença de paleocanais entrelaçados formando *sets* de camadas, como descrito na Seção Geológica 4.

Em descrição petrográfica, os fragmentos placóides de hematita/magnetita encontram-se imersos em matriz ferruginosa fina, possuindo contornos bem definidos. Suas bordas estão envoltas em camadas milimétricas ou pátiuas de goethita, com coloração variando do marrom ao bege, que apresentam contornos concêntricos onde é observada a variação de coloração. A matriz, embora muito fina, contém grãos que são formados por argila e têm aspectos arredondados a subarredondados ou são formados de fragmentos lateríticos com aspecto placóide, semelhantes aos fragmentos maiores.

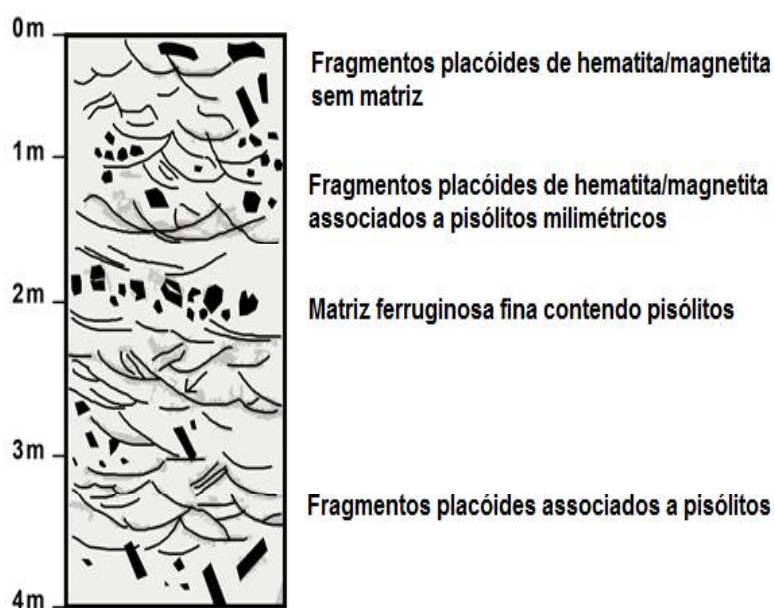


Figure 48: Perfil esquemático da Seção Geológica 5. Nessa Seção foram descritas as fácies *Bp*, fragmentos placóides sem matriz; *Cem*, fragmentos placóides milimétricos associados a pisólitos e *Bpm*, pisólitos imersos em matriz fina.

Análises de MEV, EDS e difração de raios x, revelaram que a composição dos fragmentos e da matriz apresenta majoritariamente óxido e hidróxido de ferro, hematita e goethita (Figuras 49 e 50).

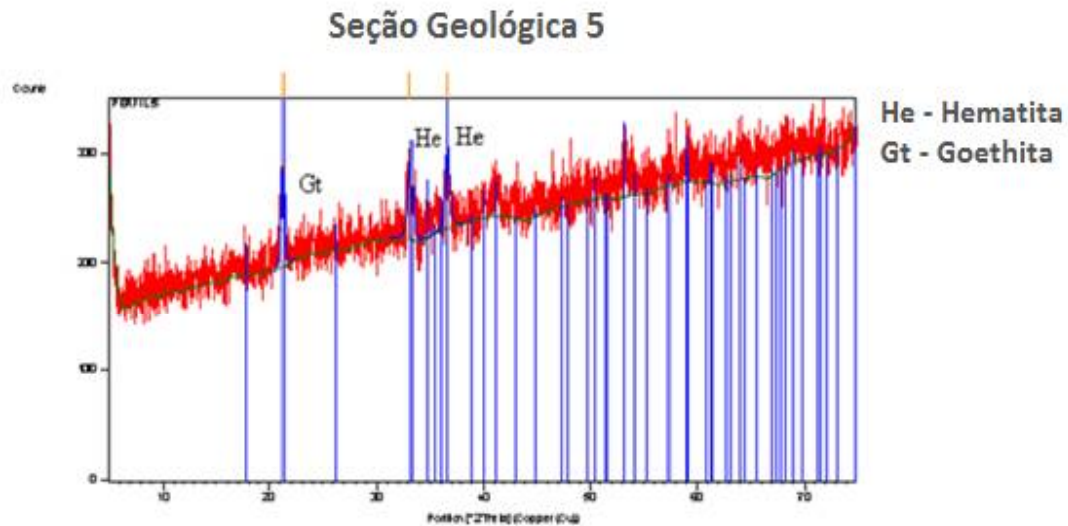


Figure 49: Difratoograma da Seção Geológica 5, onde observamos apenas picos de hematita e goethita.

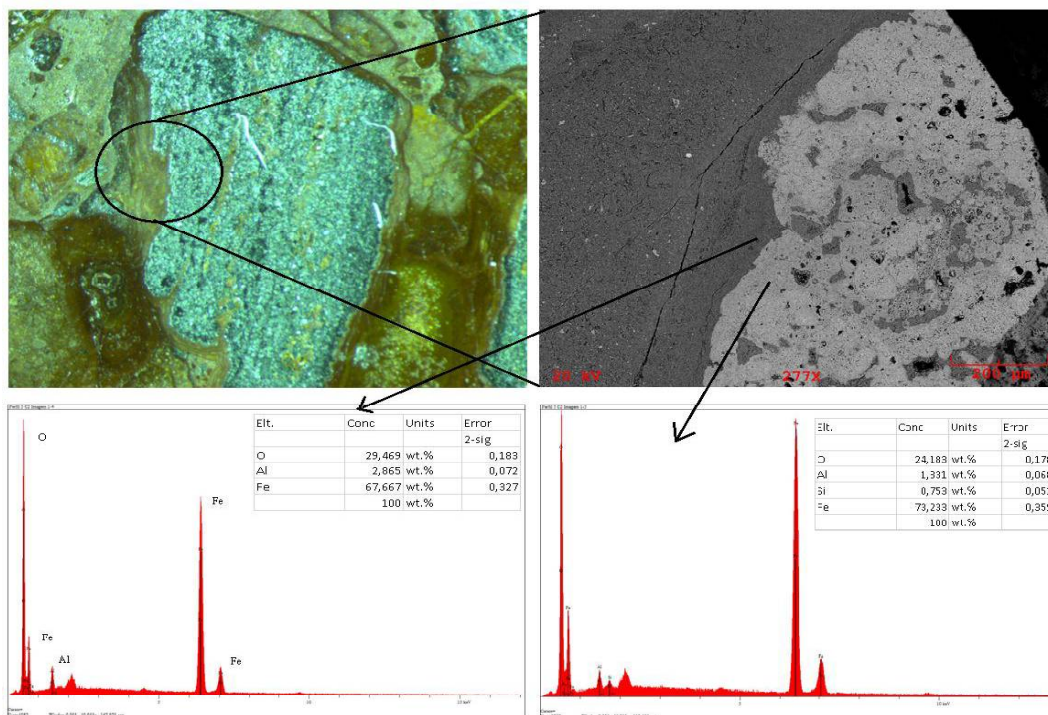


Figure 50: Prancha contendo informações da crosta laterítica da Seção Geológica 5. Na porção superior à esquerda fotomicrografia, a direita imagem de MEV, na porção inferior análises EDS de um fragmento ferruginoso envolto por pátina goethítica.

7 DISCUSSÃO

As diferentes fácies sedimentares descritas nas seções geológicas estudadas no entorno da Lagoa do Amendoim, são fundamentais para o entendimento da evolução da crosta laterítica presente na área. Na Fácies *Bp*, como brecha maciça clasto suportado com imbricação, os fragmentos placóides encontram-se embrincados entre si e dispostos em vários ângulos, o que sugere fluxos unidirecionais de alta energia. FAMBRINI et al. (2005) interpretam a fácies formada por brechas constituída por clastos muito angulosos a subangulosos, sustentada pelo arcabouço e maciça como depositadas por sistema de leques aluviais proximais em clima árido, levando-se em consideração entre outros fatores a presença de clastos angulosos; mecanismo de fluxo gravitacional dos sedimentos e ausência de argila.

Nas diferentes fácies interpretadas, os fluxos de detritos ocorriam com sobreposição de pequenos canais que fluíam em várias direções e que foram superimpostos uns aos outros, enquadrando-se ao modelo de canais entrelaçados proximais pois formaram lentes ou camadas de material clasto suportado com pouca matriz, por vezes imbricados. Esse conjunto de processos corroboram com a hipótese de que a formação da crosta laterítica na área de estudo se deu pelo endurecimento de depósitos sedimentares superficiais. Esses depósitos lateritizados haviam sido apontados em estudos anteriores (MAURITY, 1995), porém sem detalhes suficientes para a caracterização de fáceis, texturas e estruturais que justificam sua origem.

Quanto a evolução da cobertura laterítica da área de estudo, podemos tomar como marco zero, um terreno laterítico formado possivelmente em áreas arrasadas com crostas lateríticas formadas *in situ* sobre as rochas vulcânicas ou sobre o jaspelito, rochas essas que compõem a geologia da região, assim como a partir de outras crostas lateríticas desmanteladas, transportadas e sedimentadas. Essa cobertura laterítica teria sofrido um processo de desmantelamento seguido de retrabalhamento através de transporte, provavelmente por fluxo de detritos do tipo *debris flow*, deposição e novamente o processo de lateritização. Assim essa cobertura laterítica teria sofrido, de

forma cíclica, vários eventos de desmantelamento, erosão, transporte dos fragmentos, deposição e seu endurecimento através das transformações da matriz fina ferruginosa em goethita principalmente, conferindo a essa sequência uma caracterização polifásica e policíclica.

A duricrosta formada na área de estudo é caracterizada como parte do processo laterítico, por apresentar estruturas que configuram o processo de laterização que ocorreu ao material sedimentar depositado. Essas estruturas foram identificadas como microfissuras e poros preenchidos por gibbsita acumulada, túbulos formados pela ação das raízes dissolvendo a crosta e permoporosidade que configuram estruturas associadas a um processo muito evoluído de lateritização.

Quanto ao processo de formação da duricrosta, os invólucros dos esferulitos, ou seja, as pátinas, indicam que foram transportados e retrabalhados muitas vezes e envolvidos parcialmente pela matriz fina, e em determinados períodos de estabilidade, houve a cristalização da goethita. Esse conjunto pode ter sido exposto ao ambiente mais seco ou subaéreo tendo como resultado o ressecamento, formando linhas de contorno escuras. As pátinas comportam-se de forma irregular, exibindo contatos bem definidos, sugerindo que algumas partes foram arrancadas e totalmente substituídas formando um contato abrupto, ou difuso, e nesse caso, as pátinas poderiam ter sido assimiladas pela matriz de forma parcial e sobre seus resquícios ter sido depositado um novo ou novos invólucros. O aspecto irregular ou mesmo corroído das linhas de contorno dos esferulitos, pode ser interpretado como o resultado de inúmeros eventos de acreção de material goethítico sobre o fragmento seguido de destruição parcial dos mesmos durante o transporte e sedimentação sucessivos.

8 CONCLUSÃO

A cobertura laterítica no entorno da lagoa do Amendoim apresenta porções relíquiárias preservadas de estruturas e texturas sedimentares como imbricação dos fragmentos, granodecrescência, arcabouços de brechas suportadas por clastos ou por matriz e sets de acamamentos. Tais texturas e estruturas podem levar a interpretação de que houve deposição em ambientes de leques aluviais e sistema fluvial de canais entrelaçados. As sequências deposicionais indicam claramente que houveram vários eventos deposicionais marcando as fácies de granulação mais grossas de diferentes fontes intercaladas as de granulação mais finas. As análises petrográficas mostraram que esse conjunto de fragmentos é proveniente de materiais intemperizados de perfis lateríticos pretéritos.

O processo de lateritização ocorreu nesses depósitos, provavelmente em vários ciclos provocando seu endurecimento e espessamento, principalmente demonstrado pela cristalização da goethita e precipitação tardia da gibbsita em poros e interstícios.

9 BIBLIOGRAFIA

ALVES, C. A.; BERNARDELLI, A. L.; BEISIEGEL, V. R. A jazida de níquel laterítico do Vermelho, Serra dos Carajás, Pará. In: SIMP. AMAZONICO, 2, 1984, Manaus. **Anais...** Manaus, DNPM, 1984. p. 339 - 353.

AMORIM NETO, A.; SATYAMURTY, P.; CORREIA, F. W. Some observed characteristics of frontal systems in the Amazon Basin. *Meteorological Applications*, v. 22, p. 617–635, 2015.

ANGÉLICA, R. S.; COSTA, M. L. Geochemistry of rare-earth elements in surface lateritic rocks and soils from the Maicuru complex, Pará, Brazil. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 47, p. 165 - 82. 1993.

ANGELICA, R. S.; COSTA, M. L.; POELLMANN, H. Gold, wolframite, tourmaline-bearing lateritized gossans in the Amazon region, Brazil. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 57, p. 201 - 215, 1996.

ARAÚJO O. J. B.; MAIA R. G. **Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil. Programa Grande Carajás, Serra dos Carajás, Folha SB 22 Z-A.** Brasília: DNPM/CPRM. 164 p. 1991.

ASSAD, R. Depósitos de bauxitas na Amazônia. In: CONGR. BRÁS. GEOL., 30., 1978, Recife. **Anais...** Recife: SBG. v. 6., 1978. p. 2511-2519.

ASSAD, R.; BEISIEGEL, V. R. Depósitos de bauxita na Serra dos Carajás, In: CONGR. BRÁS. GEOL., 30. Recife. **Anais...** Recife: SBG. v. 4, 1978. p. 1385-1391, 1978.

ASSAD, R.; NETO, A. P. A. Depósitos de bauxita de Almerim. In: CONGR. BRÁS. GEOL., 29., 1976, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: SBG. v. 3, 1976, p. 113-115.

AVELAR, V. G. et al. O magmatismo arqueano da região de Tucumã, Província Mineral de Carajás: novos dados geocronológicos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 29, n. 4, p. 453 - 460, 1999.

BEAUVAIS, A. et al. Pétrologie du gisement latéritique manganésifère d' Azul (Brasil). **Mineralium Deposita**, v. 22, p. 124 - 134.

BEISIEGEL V. R., et al. Geologia e Recursos Minerais da Serra dos Carajás. **Rev. Bras. Geoc.** v, 3, p. 1973, p. 215 - 242.

BEISIEGEL, V. R. Distrito ferrífero da Serra dos Carajás. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 1., 1982, Belém. **Anais...** Belém: SBG/NNO. Anexo, 1982. p. 25 - 46.

BERNADELLI, A. et al. The Carajás nickel deposits. In: INT. SEMINAR ON LATERITIZATION PROCESSES, 2., 1983, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: AG/USP. 1983. p. 107 - 118.

BOULANGÉ, B. et al. The bauxite of the Quadrilátero Ferrífero. In: CARVALHO, A. B et al., (Ed.). **Brazilian bauxites**. São Paulo; Paris: USP/FAPESP/ORSTOM, 1997. p.161 - 194

BUCHANAN, F. **A jornal from Madras through the Countries os Mysore, Kanara and Malabar**. Vol. 2, p. 436-461, 559; Vol. 3, 66, 89, 251, 258, 378. London: East India Co., 1807.

CARVALHO, A. et al. (Ed.). **Brazilian bauxites**. São Paulo; Paris: USP/FAPESP/ORSTOM, 1997. 319 p.

CHAUVEL, A., et al. Aluminium and iron oxi-hydroxide segregation in nodules of latosols developed on Tertiary sediments (Barreiras Group) near Manaus (Amazon Basin), Brazil. In: INT. SEMINAR ON LATERITIZATION PROCESSES, 2., 1983. São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: IAG/USP. p. 507 - 526.

COSTA, M. L. **Geologia, mineralogia, geoquímica e gênese dos fosfatos de Jandiá, Cansa Perna, Itacupim no Pará e Trauíra e Pirocaua no Maranhão**. Belém, 164 f. Tese (Doutorado em Ciências Geológicas) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Geofísicas e Geológicas, Universidade Federal do Pará, Belém, 1980.

COSTA, M. L. **Petrologisch-geochemische Untersuchungen zur Gênese von Bauxire und Phosphat-Laterite der Region "Gurupi" (Ost-Ainazonien)**. Erlangen (RFA). 1982. 189 f. Tese (Doutorado) - Mineralogisches Institut, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen, 1982.

COSTA, M. L.; SÁ, J. H. S. Os fosfates lateríticos da Amazônia Oriental: geologia, mineralogia, geoquímica e correlação com as bauxitas da Amazônia. In: CONGR. BRÁS. GEOL., 31., 1980. Camboriú. **Anais...** Camboriú: SBG. v. 3; p. 1459 - 1472.

COSTA, M. L.; COSTA, W. A. M.; SCHWAB, R. G. Mineralogia das ocorrências de fosfates lateríticos do Pará e Maranhão (Brasil). In: CONGR. BRÁS. GEOL., 31., 1996, Camboriú. **Anais...** Camboriú: SBG. v. 4, p. 1982-1996.

COSTA, M. L. Lateritos e lateritização. In: CONGR. BRÁS. GEOL., 36., 1990. Natal. **Anais...** Natal: SBG. v. I, p. 404 - 421.

COSTA M. L. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. **Rev. Bras. Geoc.**, 1991. v. 21, p. 146 - 160.

COSTA, M. L.; VIEIRA-COSTA, J. A.; ANGELICA, R. S. Gold-bearing bauxitic laterite in a tropical rain forest climate: Cassiporé, Amapá, Brazil. **Chronique de la Recherche Minière**, v. 510, p. 41 – 51, 1993.

COSTA, M. L. Lateritisation as a major process of ore deposit formation in the amazon region. **Explor. Mining Geol**, v. 6, n. 1, p. 79 - 104. 1997

COSTA, M. L., ANGÉLICA, R.; COSTA, N. C. The geochemical association Au-As-B-(Cu)-Sn-W in latosol, colluvium, lateritic iron crust and gossan in Carajás, Brazil: importance for primary ore identification. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 67, p. 33 - 49. 1999

COSTA, M. L. **Introdução ao intemperismo laterítico e à lateritização**. Belém: Universidade Federal do Pará, 2007.

COSTA, M. L.; ARAÚJO, E. S. Application of multi-element geochemistry in Au-phosphate-bearing lateritic crusts for identification of their parent rocks. **Journal of geochemical exploration**, v. 57, p. 257 - 272. 1996

COSTA, M. L.; MORAES, E. L. Mineralogy, geochemistry and genesis of kaolin from the Amazon region. **Mineralium Deposita**, v. 33, p. 283 - 297. 1998

DALL'AGNOL, R. et al. Petrogenesis of the Paleoproterozoic rapakivi A-type granites of the Archean Carajás metallogenic province, Brazil. **Lithos**, v. 80, p. 101 – 129, 2005.

DANIEL, D. S. L.; VARAJÃO, A. F. D. C.; YVON, J. Geochemical evolution of the Capim River Kaolin, Northern Brazil. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 88, p. 329 – 331, 2006.

DELGADO, B. G. Análise da deformabilidade de um solo tropical do oeste do Maranhão como material de sublastro na estrada de ferro Carajás. 2012. Dissertação (**Merstrado**). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Núcleo de Geotecnia.

DENNEN, W. H.; NORTON, H. A. Geology and geochemistry of bauxite deposits in the Lower Amazon Basin. **Econ. Geol.**, v. 72, p. 82 – 89, 1977.

DOCEGEO. Área Maraonaí. **Relatório final de pesquisa**. 1988. 4 v.

FAMBRINI, G. L. Et al . 2005. A Formação Barriga Negra (Ediacarano do Uruguai): Caracterização Estratigráfica E Correlação Com Unidades Do Estado Do Rio Grande Do Sul – Brasil: Revista Brasileira de Geociencias, **35**: 515–524.

FARACO, M. T. L. et al. Folha SC.22 - Tocantins. In: SCHOBENHAUS, C. et al. (Ed.). **Carta geológica do Brasil ao milionésimo**: Sistema de informações geográficas-SIG. Programa Geologia do Brasil. Brasília: CPRM, 2004a. 1988. 1 CD-ROM.

FARACO, M. T. L. et al. Folha SB.22 - Araguaia. In: SCHOBENHAUS, C. et al. (Ed.). **Carta geológica do Brasil ao milionésimo**: Sistema de informações geográficas-SIG. Programa Geologia do Brasil. Brasília: CPRM, 2004. 1 CD-ROM.

FERRARI, A. J. **Deriva Continental e Sucessão Paleoclimática**: Simulação da Evolução das Paisagens Lateríticas da América do Sul e da África. Tese (Doutorado em Geofísica) - Universidade de São Paulo. Instituto Astronômico e Geofísico, 1996. São Paulo. 111 p.

FREYSSINET, P. H. et al. Ore-forming processes related to lateritic weathering. **Economic Geology**, p. 681-722, 2005.

GIBBS, A. K. et al. Age and composition of the Grao Para Group volcanics, Serra dos Carajas, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 16, n. 2, p. 201 - 211, 1986.

GIRARD J. P.; RAZANADRANOROSOA, D.; FREYSSINET, P. Laser oxygen isotope analysis of weathering goethite from the lateritic profile of Yaou, French Guiana: paleoweathering and paleoclimatic implications. **App. Geochem.**, v. 12, n. 2, p. 163 - 174. 1997.

GOMES C. B., CORDANI U. G.; BASEI M. A. S. Raiometric Ages from the Serra dos Carajás Area, Northern Brasil. **Geol. Soc. Of Am. Bull.**, v. 86, n. 7, p. 939 - 942. 1975.

GONÇALVES, D. F.; SOUSA, D. L. Aspectos morfológicos de espeleotemas em feições pseudocársticas da região de Carajás-PA. CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 31., 2011, Ponta Grossa. **Anais ...Ponta Grossa**. 2011.

GHOSH, S.; GUCHHAIT, S. K.; H, X. Characterization and evolution of primary and secondary laterites in northwestern Bengal Basin, West Bengal, India. **Journal of Palaeogeography**, v. 4, n. 2, p. 203-230, 2015.

GREIG, E. W. Trombetas and other Amazon Bauxites, Brazil. Soe. Minning Engineers, **AIME.**, 1977. 34 p. (Preprint 77-H-92).

GROKE, M. G. T. et al. Alteração dos minerais na zona supérgea da formação cuprífera do Salobo 3A (Serra dos Carajás) - localização do cobre nos produtos secundários. **Rev. Bros. Geoc.**, v. 15, n.4, p. 293 - 299. 1985

GRUBB, P. L. C. Génesis of bauxite deposits in the Lower Amazon Basin and Guianas Coastal Plain. **Econ. Geol.**, v. 74, n. 4, p. 735 - 750. 1979.

GUIMARÃES, J. T. F. et al. Modern pollen rain as a background for palaeoenvironmental studies in the Serra dos Carajás, southeastern Amazonia. The Holocene. Epub ahead of print 18 January. 2017.

HIRATA, W. K. et al. Geologia regional da Província mineral de Carajás. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 1982. Belém. **Anais**. Belém: SBG/NN, v. 1, 1982. p. 100 - 110.

HORBE, A. M. C.; COSTA, M. L. Perfil laterítico mineralizado em Sn, Zr, Th, Nb, Y e ETR (Serra do Madeira – Pitinga-AM): características mineralógicas e evolução geoquímica. **Anais Acad. Brás. Ci.**, v. 69, n. 2, p. 193 – 210, 1997.

HORBE, A. M. C.; COSTA, M. L. Relações genéticas entre latossolos e crostas lateríticas aluminosas e alumino-ferruginosas na região de Paragominas, Pará. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 29, n. 4, p. 497 – 504, 1990.

HORBE, A. M. C.; COSTA, M. L. Geochemical evolution of a lateritic Sn-Zr-Th-Nb-Y-REE-bearing ore body derived from apogranite: the case of Pitinga, Amazonas – Brazil. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 66, p. 339 – 351, 1999.

HÜHN, S. R. B.; MACAMBIRA, M. J. B.; DALL'AGNOL, R. Geologia e Geocronologia Pb/Pb do Granito Alcalino Arqueano Planalto, Região da Serra do Rabo – Carajás – PA In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 6., 1999a. Manaus. **Resumos expandidos...** Manaus: SBG, p. 463-466.

HÜHN, S. R. B. *et al.* Descoberta do depósito Cu (Au) Cristalino: geologia e mineralização associada – região da Serra do rabo – Carajás – PA. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 6., 1999b., Manaus. **Resumos expandidos...** Manaus: SBG-Núcleo Norte, p. 140-143.

KATZER, F. Grundzüge der Geologie des unteren Amazonasgebietes des Staates Pará in Brasilien. Leipzig: M. Weg., 1903. 296 p.

KKÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate. Handbuch der Klimatologie. Berlin, Kraus-Thomson. **1-C**. 1936.

KLAMMER, G. Reliefentwicklung in Amazonasbecken und plioleistozyäne Bewegungen des Meeresspiegels. Zeitschr. **Für Geomorphologie**, v. 22, p. 390 - 416. 1978

KOTSCHOUBEY, B.; TRUCKENBRODT, W. Evolução poligenética das bauxitas do distrito de Paragominas-Açailândia (Estados do Pará e Maranhão). **Rev. Bras. Geoc.**, v. 1., n. 3, p. 193 - 202, 1981.

KOTSCHOUBEY, B. Bauxitas do Baixo Nhamundá, região do Médio e Baixo Amazonas - natureza e gênese. In: CONGR. BRÁS. GEOL., 33., 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG. v. 8, p. 3926 -3940.

KOTSCHOUBEY, B. Geologia do alumínio. **Principais Depósitos Minerais do Brasil**. Brasília: DNPM, 1988. p. 599-619. v. 3

KOTSCHOUBEY, B.; TRUCKENBRODT, W.; HIERONYMUS, B. Depósitos de caolim e argila semi-flint no nordeste do Pará. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 26, p. 71 - 80. 1996.

KOTSCHOUBEY, B. et al. Caracterização e gênese dos depósitos de bauxita da província bauxitífera de Paragominas, Noroeste da Baía do Grajaú, Nordeste do Pará/Oeste do Maranhão. In: MARINI, O. J.; QUEIROZ, E. T.; RAMOS, B. W. (Ed.). **Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia**. Brasília-DF: CT-MINERAL/FINEP, ADIMB, 2005. p. 691-782.

KRYMSKY, R. S.; MACAMBIRA, J. B.; MACAMBIRA, M. J. B. Geocronologia U-Pb em zircão de rochas vulcânicas da Formação Carajás, Estado do Pará. In: SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 2., 2002. Belém. **Resumos...** Belém: PRONEX/SBG, 2002. p. 41.

KRONBERG, B. I. et al. Minor element geochemistry of Paragominas bauxites, Brazil. **Econ. Geol.**, v. 74., p. 1869 - 1875. 1979.

LACERDA FILHO, J. V. de et al. (Org.). **Geologia e recursos minerais do Estado de Mato Grosso: Sistema de informações Geográficas – SIG**: Texto explicativo dos mapas geológicos e de recursos minerais do Estado de Mato Grosso: Escala 1:1.000.000. Goiânia: CPRM, 2004. CPRM/SICME-MT, 225 p. il. 1 CD-ROM. Programa Geologia do Brasil (PGB).

LEMO, V. P.; VILLAS, R. N. N. Alteração supergênica das rochas básicas do Grupo Grão-Pará - implicações sobre a gênese do depósito de bauxita de N5. Serra dos Carajás. **Rev. Bras. Geoc.**, v. 13, n. 3, p. 165-177, 1983.

LEVETT, A. et al. 2016. Evidence of biogeochemical processes in iron duricrust formation. *J South Amer Earth Sci* **71**:131–142.

LIMA, W. N.; REYMÃO, M. F. F. Estudo termodinâmico teórico e aplicado às alterações de hidróxi-fosfatos naturais: fosfatos lateríticos de Jandiá (PA) e Pirocaua (MA). **Rev. Bras. Geoc.**, v. 13, n. 1, p. 41 – 51. 1983.

LINDENMAYER, Z. G.; LAUX, J. H.; TEIXEIRA, J. B. G. Considerações sobre a origem das Formações Ferríferas da Formação Carajás, Serra dos Carajás. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, n. 1, p. 21 - 28, 2001.

LINDENMAYER, Z. G. et al. Caracterização geológica do Alvo Estrela (Cu-Au), Serra dos Carajás, Pará. In: MARINI, O. J.; QUEIROZ, E. T.; RAMOS, B. W. (Ed.). **Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia**. Brasília: DNPM-CT/Mineral-ADIMB, 2005. p. 157-226.

LOBATO, L. M. et al. A mineralização hidrotermal de ferro da Província Mineral de Carajás: controle estrutural e contexto na evolução metalogenética da província. In: MARINI, O. J.; QUEIROZ, E. T.; RAMOS, B. W. (Ed.). **Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia**. Brasília: DNPM-CT/Mineral-ADIMB, 2005. p. 21 - 92.

LUCAS, Y. **Systemes pedologiques en Amazonie Brasilienne. Equilibres, disequilibres et transforinations** Poltiers, 1989. 159 f. Tese (Doutorado) - Université de Poltiers. 1989.

LUCAS, Y.; KOBILSEK, B.; CHAUVEL, A. Structure, génesis, and present evolution of Amazonian bauxites developed on sediments. In: INTERN. CONG. ICSOBA 6., 1989. Poços de Caldas, Brazil, **Proceedings...** Travaux: ICSOBA., v. 22, p. 81 - 94.

LUCAS, Y.; CHAUVEL, A. Soil formantion in tropically weathered terrains. In: BUTT, C. R. M.; H., Zeegers (Org.). **Regolith Exploration Geochemistry in. tropical and sub-tropical terrains**. Amsterdam: Elsevier, 1992. v. 4. p. 57-76. (Handbook of Geochemical Exploration).

MACAMBIRA, Joel Buenano; UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. **O ambiente deposicional da Formação Carajás e uma proposta de modelo evolutivo para a Bacia Grão Pará**. 2003. xxv, 217 f. : + 01 mapa. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, 2003.

MACAMBIRA, E. M. B.; JORGE JOÃO, X. S.; SOUZA, E. C. Geologic and petrological aspects of the Plaquê Granite – Southeastern of Pará State. In: SYMPOSIUM OF ARCHEAN TERRANES OF THE SOUTH AMERICAN PLATFORM, 1996, Brasília. **Abstracts...** Brasília: SBG, 1996. p. 73 - 75.

MACAMBIRA, J. B.; SCHRANK, A. Químioestratigrafia e evolução dos jaspilitos da Formação Carajás (PA). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32, n. 4, p. 567 - 578, 2002.

MACHADO N. et al. U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil. **Precambrian Research**, v. 49, p. 1 - 26, 1991.

MAURITY, C. W; UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ. **Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1 - Serra dos Carajás**. 1995. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica.

MEIRELLES, M. R.; DARDENNE, M .A. Vulcanismo basáltico de afinidade shoshonítica em ambiente de arco arqueano, Grupo Grão-Pará, Serra dos Carajás. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 21, n. 1, p. 41 - 50, 1991.

MEIRELLES E. M. et al. Geologia das Folhas Carajás e Rio Verde, Província Mineral de Carajás, estado do Pará. In: CONG. BRAS. DE GEOL., 33, Rio de Janeiro, 1984. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG. v. 2, p. 2164 - 2174.

MELFI, A. J. **Lateritas e Processos de Lateritização**. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Geotecnia. Transcrição de palestra, 1994.

MIALL, A. D. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. In: MIALL, A. D. (Ed.) **Fluvial Sedimentology**. Calgary: Canadian Society of Petroleum Geologists, 1978. p. 597 - 604. (Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir, 5).

MIALL, A. D. **The geology of fluvial deposits**: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology. Berlin: Springer, 1996. 582 p.

MORAES M. C.; PARADELLA W. R.; RENNÓ C. D. Mapeamento de lateritas mineralizadas em ferro do depósito de n1 (Carajás-PA) através de classificação textural de imagens de radar do SAREX'92. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 32, n. 3, p. 351 - 360, 2002.

MOUGEOT, R. *et al.* Geochronological constraints for the age of the Águas Claras Formation (Carajás Province, Pará State, Brazil). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1996, Salvador. **Resumos expandidos...** Salvador: SBG, 1996. v. 6, p. 579 - 581.

NAHON, DANIEL B. **Introduction to the petrology of soils and chemical weathering**. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1991.

NOGUEIRA, Afonso César Rodrigues; UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ.. **Análise faciológica e aspectos estruturais da formação Águas Claras, região central da Serra dos Carajás-PA.** 1995. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica.

OKONKWO, UGOCHUKWU NNATUANYA. Optimization of Bagasse Ash Content in Cement Stabilized Lateritic Soil. **Unpublished Ph. D. Dissertation Submitted to Department of Civil Engineering, University of Nigeria Nsukka**, 2015.

OLIVEIRA, N. P.; SCHWAB, R. G. Itacupim: um exemplo da influência do fósforo sobre o desenvolvimento de perfis lateríticos. In: CONGR. BRÁS. GEOL., 31. Camboriú, 1980. **Anais...** Camboriú, SBG. v. I, p. 184 - 196, 1980.

OLIVEIRA, S. M .B. Estágio atual do conhecimento acerca do minério laterítico de níquel do Brasil e no mundo. **Rev. IG São Paulo**, 11(2): 49-57, 1990.

OLIVEIRA, S. M. B.; TRESCASES, J. J.; MELFI, A. J. Lateritic nickel deposits of Brazil. **Mineralium Deposita**. v. 27, p. 137 - 146, 1992.

OLIVEIRA, S. M. B.; VALENTE, J. C. P. Contribuição a metalogênese do estanho em meio supérgeno – a jazida de Serra da Onça B em Rondônia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 23, n. 4, p. 400 - 407, 1993.

OLIVEIRA, S. M .B.; UMBERNON, R. A. L. Weathering alteration and related REE concentration in Catalao I complex carbonatite, Central Brazil. **Journal of South America and Earth Science**, v. 11, n. 4, p. 379 - 388, 1998.

OLLIER, C.D. and SHETH, H.C. (2008): The high Deccan duricrusts of India and their significance for the 'laterite' issue. *Journal of Earth System Science* 117 (5) 537 – 551

OLSZEWSKI W. J. et al. The age, origin, and tectonics of the Grão Pará Group and associated rocks, Serra dos Carajás, Brazil: Archean Continental Volcanics and rifting. **Precambrian Research**, v. 42, p. 229 - 254, 1989.

PEDRO, G.; MELFI, A. J. The superficial alteration in tropical region and the lateritisation phenomena. In: MELFI, A. J.; CARVALHO (Ed.). In: INTERNATIONAL SEMINAR ON LATERISATION PROCESSES, 2, 1982, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IAG/USP, 1982.

PÉDRO, G. Les grands tendances des sols mondiaux. **Cultivar “Sols et sous-sols**. [S.l.: s. n.], 1984.

PIDGEON R. T., MACAMBIRA M. J. B., LAFON J. M. Th-U-Pb isotopic system and internal structures of complex zircons from an enderbite from the Pium Complex, Carajás province, Brazil: evidence for the ages of granulite facies metamorphism and the protolith of the enderbite. **Chemical Geology**, v. 166, p. 159 - 171, 2000.

PINHEIRO, R. V. L. **Reactivation history of the Carajás and Cinzento strike-slip systems, Amazon, Brazil**. 1997. 408 f. Tese (Doutorado) - University of Durham, England, 1997

PORTO, C. G.; HALE, M. Mineralogy, morphology and chemistry of gold in the stone line lateritic profile of the Posse deposit, Central Brazil. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 57, p. 115 - 125, 1996.

QUAST, Keith; ADDAI-MENSAH, Jonas; SKINNER, William. Preconcentration strategies in the processing of nickel laterite ores Part 5: Effect of mineralogy. **Minerals Engineering**, v. 110, p. 31-39, 2017.
ROSATELLI J. S. et al. Solos. Levantamentos Exploratórios de Solos. In: BRASIL, Dep. Nac. Prod. Min. – Projeto RADAMBRASIL. **Folha SB.22-Araguaia e parte da folha SC.22 Tocantins**. Rio de Janeiro, 1974. (Levantamento dos Recursos Naturais, 4).

ROSA-COSTA, L. T. **Aspectos sedimentológicos e estruturais da Formação Águas Claras, nas proximidades do Córrego Águas Claras, Serra dos Carajás**. 1992. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pará, Belém. 1992.

ROSSETTI, D.F., GÓES, A.M., 2004. Caracterização paleoambiental de depósitos albianos na borda Sul da Bacia de São Luís-Grajaú: modelo de delta fluvial influenciado por tempestade. *Revista Brasileira de Geociências* **3**, 299-312.

RUFFET, G., et al. A geochronological $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ study of K-Mn oxides from the weathering sequence of Azul, Brazil. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 60, n. 12, p. 2219 - 2232, 1996.

SALGADO, A. A. R., et al. Denudation rates of the Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brazil): Preliminary results from measurements of solute fluxes in rivers and in situ-produced cosmogenic ^{10}Be . **Journal of Geochemical Exploration**, v. 88, p. 313 – 317, 2006.

SAHOO, P. K. et al. Geochemistry of uoland lacustrine sediments from Serra dos Carajás, Southern Amazon, Brazil: Implications for catchment wethering, provenance, and sedimentar processes. **Journal of Soulth American Earth Sciences**. v. 72, p. 178 - 190, 2016.

SANTOS, Marcos Giovanni Silva dos; UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ.. **Estudo dos isótopos de Pb e Nd do depósito de Cu-Au (U-ATR) alemão, Província Mineral de Carajás (PA)**. 2002. 121 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Pará. Belém, 2002.

SCHWAB, R. G.; OLIVEIRA, N. P. CORRÊA, S. L. A. The Nickel laterites of Serra dos Carajás (Área Vermelho). **Zbl. Geol. Paláont**, v. 1, p. 99 - 111, 1985.

SCHELLMANN, W. Considerations on the definition and classification of laterites. Proc. Int. Seminar on Lateritisation Processes (Trivandrum, 1979). **Oxford IBH Publish**. p. 1 - 10, 1982.

SILVA, G. G. et al. Projeto Radam. **Geologia das Folhas SB 22 Araguaia e parte da SC 22 Tocantins**. MME/DNPM. 143 p. 1974. (Boletim, 4).

SILVA, M. G. et al. Geologia e mineralizações de Fe-Cu-Au do alvo GT-46 (Igarapé Cinzento), Carajás. In: MARINI, O. J.; QUEIROZ, E. T.; RAMOS, B. W. (Ed.). **Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia**. Brasília: DNPM/CT-Mineral/ADIMB, 2005. p. 97-151.

SILVA, R. C. F. e et al. Estudos petrográficos microscópicos e geoquímicos em jaspilitos e minérios de ferro dos depósitos N1, N4E, N4W e N5E, Província Mineral de Carajás, Pará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE EXPLORAÇÃO MINERAL, 1., 2004, Ouro Preto, MG. **Anais...** Ouro Preto, MG: ADIMB, 2004. 1 CD-ROM.

SILVA, R. Figueiredo e; LOBATO, L. M.; ROSIÈRE, C. A. Petrografia e geoquímica em jaspilitos e minérios hidrotermais de ferro dos depósitos da Serra Norte (N1, N4E, N4W e N5E), Província Mineral Carajás, Pará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METALOGENIA, 1., 2005, Gramado. **Resumos expandidos...** Gramado: SBG, 2005. 1 CD-ROM.

SILVEIRA, M.I. et al. Arqueologia na floresta: contribuição metodológica da pesquisa na Floresta Nacional Tapirapé-Aquiri – FLONATA, área do Salobo, Pará. R. Museu Arq. Etn., **25**: 133-167, 2015.

SIQUEIRA, N. V. M.; LIMA, W. N. Estudo geoquímico de alterações e distribuição dos elementos em perfil laterítico desenvolvido sob influência do fósforo - Pirocaua (MA). In: CONGR. BRÁS. GEOL., 32., 1982, Salvador. **Anais...** Salvador, SBG. v. 5, p. 1991-2001.

SOUZA-FILHO P. W. M. et al. Changes in the land cover and land use of the Itacaiunas River watershed, arc of deforestation, Carajás, southeastern Amazon. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. **XL-7/W3**, p. 1491-1496. 2015.

SOUZA et al. Padrões Climatológicos e Tendências da Precipitação nos Regimes Chuvoso e Seco da Amazônia Oriental. Revista Brasileira de Climatologia. Vol. **21**. 2017

SHUSTER, D. H. et al. Weathering Geochronology By (U-Th)/He Dating of Goethite. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 69, n. 3, p. 659 - 673, 2005.

TARDY, Y.; KOBILSEK, B.; PAQUET, H. Mineralogical composition and geographical distribution of African and Brazilian periatlantic laterites. The influence of continental drift and tropical paleoclimates during the past 150 million years and implications for India and Australia. **J. African Earth Sci.**, v. 12, n. 1/2, p. 283 - 295, 1991.

TARDY, Y. Diversity and terminology of lateritic profiles. In: CHESWORTH, W.; MARTINI, I. P.(Eds.) **Weathering soil & paleosols**. Amsterdam: Elsevier, 1992. p. 378 – 405.

TARDY, Y. **Pétrologie des Latérites et des Sols Tropicaux**. Paris: Masson. 1993. 459 p.

TEIXEIRA J. B. G.; EGGLE, D. H. Petrology, Geochemistry and Tectonic Setting of Archean Basaltic and Dioritic Rocks from N4 Iron Deposit, Serra dos Carajás, Pará, Brazil. **Acta Geological Leopoldensia**, v. 40, p. 71 - 114, 1994.

TEIXEIRA et al. (Org.). **Decifrando a Terra**. Oficina de Textos, 2009. São Paulo. Usp. 623p.

THÉVENIAUT, H.; FREYSSINET, P. Paleomagnetism applied to lateritic profiles to assess saprolite and duricrust formation processes: the example of Mont Baduel profile (French Guiana). **Palaeogeog., Palaeoclim., Palaeoeco.**, v. 148, p. 209 - 231, 1999.

THÉVENIAUT, H.; FREYSSINET, P. Timing of lateritization on the Guiana Shield: synthesis of paleomagnetic results from French Guiana and Suriname. **Palaeogeog., Palaeoclim., Palaeoeco.**, v. 178, p. 91 - 117, 2002.

THOMAS, M. F. **Tropical Geomorphology – A study of weathering and landform development in warm climates**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1974. 332 p.

TRENDALL, A. F. et al. Shirimp zircon U-Pb constraints on the age of the Carajás formation, Grão Pará Group, Amazon Craton. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 11, p. 265 - 277, 1998.

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

TOLEDO, M. C. M.; OLIVEIRA, S. M. B.; MELFI, A. J. Intemperismo e formação do solo. In: W. Teixeira, M.C.M.de Toledo, T. R. Fairchild, F. Taioli (Org.). **Decifrando a Terra**. Oficina de Textos, 2000. São Paulo. Usp. 139 - 166.

TOLEDO, M. C. M. et al. The compositional evolution of apatite in the weathering profile of the Catalão I alkaline-carbonatitic complex, Goiás, Brazil. **The Can. Miner.**, v. 42, p. 1259 - 1278, 2004.

VALARELLI, J. V; BERNARDELLI, A.; BELSIEGEL, V. R. Aspectos genéticos do minério de manganês do Azul. In: CONGR. BRÁS. GEOL., 30., 1978, Recife. **Anais...** Recife: SBG. v. 4, p. 1670-1679, 1978.

VALENTIM, R. F; OLIVITO, J. P. R. Unidade Espeleológica Carajás: delimitação dos enfoques regional e local, conforme metodologia da IN-02/2009 MMA. **Espeleotema**, v. 22, n. 1, p. 41-60, 2011.

VASCONCELOS P. M. et al. Direct dating of weathering phenomena by ⁴⁰Ar/³⁹Ar and K-Ar analysis of supergene K-Mn oxides. **Geochim. Cosmochim. Acta**, v. 58, p. 1635 - 1665, 1994.

VASQUEZ, L. V.; ROSA-COSTA, L. T. (Org.). **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas—SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará. Escala 1:1.000, 2008.**

VIEIRA, M. A. M.; GUIMARÃES, I. G.; AMARAL, M. A. M. Perfil de alteração de xistos da jazida de cobre Salobo 3A-Pará. In: SYMPOSIUM AMAZONICO, 2., 1984, Manaus. **Anais...** Manaus: DNPM., 1984. p. 313 - 326.

WADIA, D. N., 1999. Geology of India. New Delhi: **Tata McGraw Hill Publishing Company**, 279-280.

WALTHER, J. Das geologische Alter und die Bildung des laterits Petermanns geogr. **Mitt.** v. 62, n. 1-7, p. 46 - 53, 1916.

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

ZUCCHETTI, M. **Rochas máficas do Grupo Grão Pará e sua relação com a mineralização dos depósitos de ferro N4 e N5, Carajás, PA.** Tese (Doutorado em Geologia Econômica Aplicada) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007