

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

Carla Vanessa de Sousa Coelho

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA, GEOQUÍMICA E MINERALÓGICA DO
ARENITO DA FORMAÇÃO MARÍLIA E PROCESSOS DE ALTERAÇÃO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Ciências Meio Ambiente

Orientadora: Profa. Dra. Vania Silvia Rosolen

Rio Claro - SP

2017

551.9 Coelho, Carla Vanessa de Sousa
C672c Caracterização petrográfica, geoquímica e mineralógica
do arenito da Formação Marília e processos de alteração /
Carla Vanessa de Sousa Coelho. - Rio Claro, 2017
101 f. : il., figs., gráfs., tabs., fots., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Vania Silvia Rosolen

1. Geoquímica. 2. Couraça ferruginosa. 3. Argila
aluminosa. 4. Latossolo. 5. Gleissolo. 6. Triângulo Mineiro. I.
Título.

Carla Vanessa de Sousa Coelho

CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA, GEOQUÍMICA E MINERALÓGICA DO
ARENITO DA FORMAÇÃO MARÍLIA E PROCESSOS DE ALTERAÇÃO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Ciências Meio Ambiente

Comissão Examinadora

Profa. Dra. Vania Silvia Rosolen
UNESP/IGCE/DPM – Campus de Rio Claro

Prof. Dr. Antenor Zanardo
UNESP/IGCE/DPM – Campus de Rio Claro

Prof. Dr. Guilherme Taitson Bueno
PUC Minas – Belo Horizonte

Rio Claro, 30 de Março de 2017.

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, que financiou o projeto geral (2014/01131-4) permitindo a viabilidade econômica para a realização dos campos e análises químicas e mineralógicas, e também a Fundação CAPES pela concessão da bolsa de mestrado no programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente da UNESP.

Agradeço ainda toda a equipe docente e de funcionários da UNESP, que foram parte fundamental de minha formação, desde a graduação até hoje. Lembro também de toda a equipe do NUPEGEL, da ESALQ por todo o auxílio técnico e conceitual nas etapas de análises químicas.

A jornada para a execução deste trabalho não teria sido a mesma sem todo o auxílio da minha orientadora Profa. Vania, que com muita dedicação e paciência me guiou pelo caminho, nem sempre fácil, levantando dúvidas e propondo idéias até o último ponto final deste trabalho. Agradeço de forma especial por todas as conversas sobre o trabalho e sobre a vida, me ajudando a focar nos objetivos e transmitindo toda a sabedoria sobre os mais diversos assuntos.

Não posso deixar de agradecer todas as pessoas que fizeram parte desta longa etapa que foi a graduação em Geologia e o mestrado: família, amigos da faculdade e amigos de longa data, que apesar da distância se fazem presentes. Obrigada por todo o apoio e carinho que me dedicaram durante todos estes anos.

Agradeço também aos colegas e amigos de faculdade, do curso e da sala que fizeram essa experiência um pouco mais tranqüila. Em especial meus amigos para a vida Thami, Victor, Michele, Raquel, Eduardo e Otávio, que estiveram ao meu lado e me fizeram ver as coisas de uma forma mais relaxada, com risadas, brigas e muitas comemorações.

Na vida, nem tudo é infinitamente estável, há momentos de estabilidade, momentos de grande atividade em que há desconstrução e momentos de recuperação no qual se pode reconstruir e aprimorar o que antes existia. Para isso, quero agradecer as pessoas que me ajudaram a passar por estes ciclos e me permitiram chegar até aqui: Mãe, Pai, minhas irmãs e irmão Dri, Ale, Rogério; aos meus amigos Jota, Natty, Nat, obrigada por entenderem a ausência. Agradeço novamente ao Eduardo, por estar presente desde o começo nesta caminhada, e por me ensinar que nunca devemos desistir do que queremos.

Resumo

Observações de campo, petrografia, geoquímica e mineralogia em dois perfis de alteração de solo dos arenitos provenientes do Membro Serra da Galga, Formação Marília, foram utilizados para avaliar a possível relação genética entre os materiais lateríticos e os solos enriquecidos com argilas aluminosas (argilas refratárias). O estudo focou um sistema Latossolo-Gleissolo presente na superfície da chapada sedimentar. O afloramento do Latossolo, com crosta ferruginosa, situa-se na borda da chapada e o Gleissolo, onde estão concentradas as argilas aluminosas, está localizado na depressão topográfica hidromórfica. As fácies petrográficas mostram que a couraça ferruginosa é autóctone, formada no nível saprolítico do arenito. O dismantelamento atual deste horizonte está associado com a desferruginização parcial em consequência ao aumento da umidade. A estrutura pisolítica é reconhecida tanto no perfil do Latossolo quanto do Gleissolo, após a desferruginização. A associação caulinita e gibbsita predomina em todas as profundidades dos dois perfis, porém a caulinita é mais expressiva nas maiores profundidades e a gibbsita nas camadas superficiais. A desferruginização é o processo que acompanha a elevação do nível freático, seja formando horizontes manchados na base do Latossolo ou formando horizontes brancos no Gleissolo nos quais se concentram o alumínio. O enriquecimento de alumínio está associado com a dessilicificação, possivelmente relacionado com a diminuição do pH e a desestabilização da caulinita. Quartzo, raros minerais de turmalina, cianita, zircão e rutilo compõem a fase dos minerais resistentes ao intemperismo químico. A goethita é o óxido de ferro predominante, resultado de meio hidratado. O modelado plano da chapada, que corresponde à Superfície Sul-Americana descrita por King (1956), sob condições climáticas adequadas e prolongadas, favoreceu a formação de cobertura encouraçada ferruginosa. Após o término da deposição sedimentar, no Paleoceno inferior (aproximadamente 65 milhões de anos AP), a superfície foi truncada por longos períodos de erosão que aplainaram o relevo. Atualmente, o clima é tropical com forte sazonalidade e aumento da umidade. Esta nova condição hídrica, de saturação, somada às condições de estabilidade tectônica e vegetação esparsa exerce influência na lixiviação e a perda ferro no horizonte de argila aluminosa. Os resultados sugerem que é possível a formação de material aluminoso a partir de uma crosta ferruginosa, propondo assim uma hipótese autóctone para o desenvolvimento das argilas aluminosas.

Palavras-chave: Couraça ferruginosa. Argila aluminosa. Latossolo. Gleissolo.

Abstract

Field observation, petrography, geochemistry and mineralogy in two weathered soil profiles of the sandstones from Member Serra da Galga, Marilia Formation, were used to evaluate the possible genetic relation between the lateritic material and the soils enriched in aluminous clays (refractory clays). The study focus was an Oxisol-Gleysol system present in the surface of the sedimentary plateau. The Oxisol outcrop, with ferruginous duricrust, is situated on the edge of the plateau and the Gleysol, where the aluminous clay is concentrated, is located in the hydromorphic topographic depression. The petrographical facies show that the ferruginous duricrust is autochthonous, formed in the saprolitic level of the sandstone. The current dismantling of this horizon is associated with the partial deferruginization due to humidity increase. The pisolitic structure is recognized both in the Oxisol profile and Gleysol, after deferruginization. The kaolinite and gibbsite association prevails in all depth of both profiles, albeit kaolinite is more significant in deeper depths and gibbsite in the superficial layers. Deferruginization is a process that accompanies groundwater level rise, might develop mottled horizons at the Oxisol base or forming white horizons at the Gleysol in which the aluminum is concentrated. The aluminum enrichment is associated with the desilicification, possibly related with decrease in pH and the kaolinite destabilization. Quartz, rare tourmaline, kyanite, zircon and rutile minerals make up the phase of minerals resistant to chemical weathering. Goethite is the dominant iron oxide, outcome of a hydrated environment. The flat shape of the plateau, which corresponds to the South American Surface described by King (1956), under appropriate and prolonged weather conditions, favored the formation of the hard ferruginous coverage. After the end of sedimentary deposition, in early Paleocene (approximately 65 million years BP), the surface was truncated by long erosion periods that flattened the relief. Currently the weather is tropical with strong seasonality and humidity increase. This new hydrological condition, saturated, combined with stable tectonic conditions and sparse vegetation exerts influence in leaching and loss of iron in the aluminous clay horizon. The results suggests that is possible the formation of a aluminous material from a ferruginous duricrust, proposing an autochthonous hypothesis for the development of the aluminous clays.

Key-words: Ferruginous duricrust. Aluminous clay. Oxisol. Gleysol.

Índice de Ilustrações

Figura 1 - Localização da área de estudos, com identificação dos locais do perfil da BR-050 (P4), perfil do centro da depressão (P3) e campos de murundus.	22
Figura 2 - Mapa geológico apresentando as unidades que compõem o Grupo Bauru (BATEZELLI & LADEIRA, 2016).	30
Figura 3 - Carta cronoestratigráfica da Bacia Bauru (BATEZELLI, 2016).	32
Figura 4 - Visão do perfil de uma das superfícies de chapada do Triângulo Mineiro.	38
Figura 5 - Perfil topográfico indicando a localização topográfica dos perfis estudados.	40
Figura 6 - Perfil esquemático do afloramento estudado, no canteiro da rodovia BR-050, km 127.	41
Figura 7 - Lentes de argila branca orientadas horizontalmente entre as camadas de deposição sedimentar que, em conjunto com o material argiloso amarelo, formam um retículo que isola concreções ferruginosas muito duras, vermelhas muito escuras.	42
Figura 8 - Horizonte de couraça e Horizonte manchado, no qual o horizonte de couraça parece apresentar relíquias de uma estratificação sedimentar.	42
Figura 9 - O nível concrecionário é constituído por concreções arredondadas vermelhas escuras ou formando estruturas laminares fraturadas e quebradas, com limites angulosos. Apresentam córtex de alteração vermelho e amarelo.	43
Figura 10 - O avanço da pedogênese no horizonte manchado refletido no desenvolvimento de um material friável, argiloso, vermelho claro que penetra do topo para a base todas as outras fácies descritas.	44
Figura 11 - Núcleo centimétrico de material ferruginoso, muito endurecido, vermelho escuro, amarelo e branco argiloso.	44
Figura 12 - Zonas completamente brancas associadas com outras compostas por numerosas pontuações que integram as três matrizes vermelha, branca e amarela.	45
Figura 13 - Foto geral e foto de detalhe mostrando a interligação entre as matrizes vermelha, branca e amarela, apresentando as diferentes maneiras como apresenta-se no perfil.	45
Figura 14 - Horizonte orgânico com transição da argila aluminosa desferruginizada (Aa), sobreposta a uma camada (Ma) apresentando uma rede de volumes vermelhos escuros	

endurecidos, vermelhos e amarelos friáveis e cinza claro sobreposta por uma camada de argila aluminosa desferruginizada.46

Figura 15 - A- Nicóis Paralelos (NP); B- Nicóis Cruzados (NC): Lâmina P4A1, representativa do horizonte a 10 cm, na qual é possível identificar a zona ferruginosa (cor vermelho escuro) e a zona desferruginizada (bege). São indicadas na figura a composição mineralógica onde o quartzo (Qtz) apresenta formas diferenciadas, com dimensões variando entre 0,1 mm e 0,5 mm, fraturas e bordas de dissolução; as micas (Mca) apresentam dimensões inferiores a 0,2 mm, e apresentam-se intensamente alterados. Os minerais opacos (Op), são predominantemente óxidos de ferro (hematita).....48

Figura 16 - A- NP; B- NC: Lâmina P4A1, representativa do horizonte a 10 cm. Porção da matriz bege, na qual se vê concentração de óxidos (Op) (cor preta); grãos de quartzo (Qtz) alterados, apresentando bordas corroídas, possivelmente indicando dissolução destes grãos, alguns apresentam intenso grau de fraturamento e fraturas preenchidas por material escuro; cianita (Ky) fortemente alterada, apresentando baixa birrefringência com nicóis cruzados....49

Figura 17 - A- NP; B- NC: Lâmina P4B1, representativa do horizonte a 100 cm, na qual a matriz ferruginosa e a matriz caulínica são separadas por macroporosidade. Além do quartzo, ainda é possível encontrar neste horizonte cristais primários como cianita (Ky) e turmalina (Tur).50

Figura 18 - Lâmina P4A1, representativa do horizonte 10 cm, onde é possível verificar a cobertura ou película ferruginosa, neste caso chamada de hipopelícula (STOOPS, 2010), devido à matriz apresentar sinais de redução pela mudança na coloração e ocorrer perda de argila.50

Figura 19 - A- NP; B- NC: Lâmina P4A1, representativa do horizonte a 10 cm. Concentração de óxidos (núcleo ferruginoso) apresentando diferentes aspectos, com grãos menores que 0,5 mm; cristais de quartzo (Qtz) fraturados, subarredondados, com bordas de dissolução nas quais é possível identificar acúmulos da matriz bege; feldspato (FK) intensamente alterado, com 0,6 mm, com aspecto placóide.....51

Figura 20 - Aglomerado de nódulos ferruginosos com grãos de quartzo em meio a massa ferruginosa, apresentando fraturas, em alguns locais preenchidas pelo plasma ferruginoso; óxidos de ferro (Op) predominam na porção direita, apresentando aspecto arredondado com menos de 0,2 mm.....52

Figura 21 - A- NP; B- NC: Lâmina P4B2, representativa do horizonte a 100 cm. Presença de matriz ferruginosa com óxidos (Op) de coloração escura, com até 0,5 mm de diâmetro; quartzo (Qtz) com até 1 mm, alguns fraturados, mas todos com bordas corroídas, com acumulação de matriz ferruginosa. Presença de plasma de alteração de cor laranja vivo, com menos de 0,2 mm. Zircão (Zrn) com menos de 0,2 mm, com alta birrefringência.	52
Figura 22 - Detalhe do grão de quartzo fraturado, com bordas corroídas com presença da matriz ferruginosa preenchendo algumas fraturas; presença de óxidos de coloração escura...	53
Figura 23 - Lâmina (P4D1) representativa do horizonte a 300 cm, os grãos de quartzo apresentam dimensões variadas (<0,1mm e <0,7 mm) e bordas corroídas com acúmulo da matriz ferruginosa nestas reentrâncias. Na matriz ferruginosa, estão presentes feições de iluviação de argila, marcada pela alternância entre tons de vermelho mais escuro e bege.	54
Figura 24 - Imagem ilustrativa da porção ferruginosa, com quartzo apresentando bordas de dissolução com incrustações ferruginosas nas partes alteradas; o plasma ferruginoso com uma cor vermelha viva aparece nos interstícios da matriz ferruginosa, principalmente na porção mais clara, o que indica uma fuga do ferro deste horizonte.	55
Figura 25 - Lâmina do horizonte a 300 cm, porção onde é visível a matriz bege com zonas de transição marcada pela cor amarela, onde há um acúmulo de óxidos e também onde é visível feições de iluviação de argila, caracterizada pelo estriamento distinguido pela alternância entre a cor bege e vermelho escuro. Hipopelícula - pedofeição que mostra sinais de redução devido a mudança na coloração e perda de argila.	55
Figura 26 - Lâmina representativa do nível a 300 cm indicando fácies herdada do saprolito.	56
Figura 27 - Fragmentos do arenito no topo do perfil a 100 cm de profundidade.....	56
Figura 28 - Estrutura herdada do arenito, no topo do perfil (0-10 cm) contendo microfissuras preenchidas por óxido de ferro.	57
Figura 29 – Lâmina representativa do horizonte friável nodular a 300 cm de profundidade. A- NP; B- NC: Transformação de distribuição porfírica para enáulica pela disjunção entre plasma e esqueleto. C e D Empilhamento do esqueleto composto por alguns grãos de quartzo, mas sobretudo por nódulos ferruginosos, caracterizando pisólitos soltos.	57
Figura 30 - Lâminas P4E7, representativas do nível couraçado a 440-490 cm; A- NP; B- NC: Couraça ferruginosa com estrutura maciça com grãos de quartzo (Qtz) cimentados; C- NP; D- NC: couraça ferruginosa com bandas intercaladas com camadas de plasma bege, presença de	

uma estrutura sedimentar remanescente e um grão de cianita (Ky) como nos níveis superiores.	58
Figura 31 - Fissuras no horizonte ferruginoso nas quais há acúmulo de plasma ferruginoso de cor vermelho escuro, concentração de óxidos; quartzo fraturado, com bordas arredondadas com dimensão menor que 0,5 mm.....	59
Figura 32 - Feições de alteroplasmação na matriz bege, marcada pela presença de "manchas" escuras, presença de macroporosidades, concentração ferruginosa em contato com plasma de alteração de cor amarela, cristais de quartzo (Qtz) com bordas corroídas.	60
Figura 33 - Lâminas representativas do horizonte manchado apresentando o contato abrupto entre as matrizes vermelha escura para vermelho e para o bege; a matriz bege, caulinitica, apresenta forte fissuramento.....	60
Figura 34 - A- NP; B- NC, C e D. Lâminas P4E1 -1 e 2, representativas do horizonte manchado, na qual se observa a presença de núcleos quartzosos nos pisólitos; matriz bege apresenta fissuras preenchidas por material ferruginoso de cor vermelho escuro.	61
Figura 35 - A; B; C e D: Presença de relíquias de nódulos ferruginosos, caracterizados pelo aspecto arredondado marcado pela cor vermelha escura; nota-se a presença de grãos de quartzo no interior da maior parte dos nódulos, tais grãos possuem aspecto arredondado, com bordas dissolvidas.....	62
Figura 36 - Concentração de nódulos ferruginosos, aspecto arredondado, inferiores a 0,5 mm.	63
Figura 37 - A- NP; B- NC: Poros preenchidos por plasma de alteração ferruginoso de cor laranja forte, indicando destruição da zona vermelha escura, ferruginosa; quartzo apresentando dimensão até 1 mm, fraturados e com bordas arredondadas com marca de dissolução.	63
Figura 38 - A- NP; B- NC: plasma ferruginoso vermelho escuro pode também estar distribuído em domínios contínuos isolando o plasma bege maciço ou pisolítico. Dissolução de quartzo e substituição com plasma ferruginoso.....	64
Figura 39 - A- NP; B- NC: Lâmina (P4E6) representativa do contato entre os volumes brancos e volumes vermelhos do horizonte manchado, na qual é possível identificar um cristal de zircão (Zrn) com 0,3 mm de diâmetro, fraturado, com borda dissolvida e aspecto arredondado; quartzo com até 0,5 mm, com aspecto arredondado, alguns apresentam bordas	

de dissolução. Ambas as matrizes apresentam fissuras e porosidade, sendo destacado na matriz escura a presença de plasma de alteração na borda da porosidade. 64

Figura 40 - A- NP; B- NC: Lâmina representativa do horizonte manchado na qual não é possível identificar transição entre as matrizes vermelha e bege. As porosidades estão preenchidas com plasma de alteração ferruginoso, indicando perda de Fe no horizonte, os grãos de quartzo apresentam aspecto arredondado, com até 1 mm de diâmetro, em geral apresentam bordas marcadas por dissolução, na qual se tem um acúmulo de matriz ferruginosa. 65

Figura 41 - Lâmina (P4E4) representativa dos volumes brancos, onde há predominância da matriz bege, similar a encontrada nas porções mais ferruginosas, grãos de quartzo apresentam aspecto similar ao das outras lâminas, com formas arredondadas, fraturas e bordas de dissolução. É possível identificar ainda feições de iluviação de argila, embora apareçam de forma sutil..... 65

Figura 42 - A- NP; B- NC: Lâmina (P4E6) representativa do contato entre volumes brancos e volumes vermelhos, apresentando fraturas onde provavelmente se torna um caminho preferencial de circulação de fluídos, presença de óxidos, quartzo com aspecto similar ao encontrado na matriz vermelha..... 66

Figura 43 - Morfologia do quartzo ao longo do perfil. A - Lâmina P4A1 - representativa do horizonte a 10 cm; B - Lâmina P4B1 e C - Lâmina P4B2 - representativas do horizonte a 100 cm; D - Lâmina P4D1 - representativa do horizonte a 300 cm; E - Lâmina P4E1, F - Lâmina P4E1(2), representativas do horizonte manchado a 490 cm..... 67

Figura 44 - Morfologia do quartzo ao longo do perfil. G - Lâmina P4E2; H - Lâmina P4E4 - representativa dos volumes brancos no horizonte manchado; I - Lâmina P4E5; J - Lâmina P4E6, representativas do horizonte manchado abaixo de 490 cm; K - Lâmina P4E7-A; L - Lâmina P4E7-C, representativas do nível de couraça a 440-490 cm. 68

Figura 45 - Concentração ferruginosa de cor vermelha escura, contendo quartzo de dimensões variadas e aspecto arredondado. Tanto na porção mais clara da lâmina, como na porção com maior concentração ferruginosa, o quartzo apresenta bordas dissolvidas. 69

Figura 46 - A- NP; B- NC: Quartzo (Qtz) com fomas subarredondadas, em geral pouco quebrados, dimensões que variam de 0,01 mm a até pouco mais de 1 mm, bordas marcadas pela concentração de matriz ferruginosa. Na porção com concentração de matriz ferruginosa é possível verificar que o quartzo aparece com menores dimensões do que na matriz bege. Feldspato (Fsp) alterado, e caulinita (Kln) cristalina. 69

Figura 47 - A- NP; B- NC: Turmalina (Tur) apresentando cerca de 0,3 mm de tamanho no eixo mais alongado, circundado por grãos de quartzo (Qtz) de dimensões variadas e matriz caulínica (Kln).....	70
Figura 48 - A- NP; B- NC: cristais de feldspato (Fsp) alterados, apresentando ainda resquícios da geminação de microclínio sob nicóis cruzados.....	70
Figura 49 - Grãos de quartzo (Qtz) com dimensões variadas de até 0,5 mm, em matriz caulínica de cor bege clara, turmalina (Tur) alterada com aspecto prismático e pouco mais que 0,5 mm; cianita (Ky) com menos de 0,3 mm, quebrada.	71
Figura 50 - Alternância entre as matrizes bege clara e vermelha escura, presença de cristais de quartzo com menos de 0,5 mm, onde é possível identificar pequenos microagregados, com bordas marcadas por concentrações ferruginosas, lembrando as feições encontradas no horizonte manchado e saprolito do perfil da BR-050.....	71
Figura 51 - Grãos de quartzo e turmalina em meio à matriz caulínica.	72
Figura 52 - Feição arredondada lembrando os pisólitos encontrados no horizonte manchado e saprolito do perfil P4.	72
Figura 53 - Mapa esquemático hipotético da área de estudos, apresentando as áreas de ocorrência dos gleissolos (Gleysol), latossolos (Oxisol), bem como as possíveis áreas de exposição de couraça, e a demarcação da Superfície Sul-Americana de King (1956) e a dissecação da paisagem.	86
Figura 54 - Perfil topográfico hipotético esquemático desenvolvido com base nas informações coletadas em campo, análises químicas e mineralógicas e embasado na literatura, no qual o as argilas aluminosas se formam sobre a couraça ferruginosa.	89

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Quantificação das frações areia, silte e argila.	73
Tabela 2 - Óxidos Totais e de Zr expresso em porcentagem.....	75

Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Difratoformas de raios X fração areia do perfil P4. Legenda: Kln - caulinita; Mag - magnetita; Rt - rutilo; Gt - goethita; Qtz - quartzo; Zrn - zircão.	77
Gráfico 2 - Difratoformas de raios X fração argila do perfil P4. Legenda: Kln - caulinita; Gt - goethita; Gbs - gibbsita; Hem - hematita; Ant - anatásio; Qtz - quartzo; Rt - rutilo.	78
Gráfico 3 - Difratoformas de raios X para as amostras de trado do perfil P4 (Trad. P4). Legenda: Kln - caulinita; Qtz - quartzo; Gt - goethita; Hem - hematita.	78
Gráfico 4 - Difrações de raios X para a fase vermelho escura e vermelho clara do perfil BR-050. Legenda: Kln - caulinita; Qtz - quartzo; Zrn - zircão; Gt - goethita.	79
Gráfico 5 - Difrações de raios X para a fase amarela do perfil P4. Legenda: Kln - caulinita; Qtz - quartzo; Gt - goethita; Ant - anatásio; Hem - hematita.	79
Gráfico 6 - Difração de raios X para a fase branca do perfil P4. Legenda: Kln - caulinita; Gbs - gibbsita; Qtz - quartzo.	80
Gráfico 7 - Difratoformas de raios X da amostra bruta do perfil do centro da depressão (P3). Legenda: Kln - caulinita; Gbs - gibbsita; Qtz - quartzo; Hem - hematita; Gt - goethita; Ant - anatásio.	81
Gráfico 8 - Difratoformas de raios X da fração argila do perfil do centro da depressão (P3). Legenda: Mca - mineral micáceo; Kln - caulinita; Gbs - gibbsita; Qtz - Quartzo; Hem - hematita; Gt - goethita.	82
Gráfico 9 - Difração de raios X para a fração areia das amostras obtidas por trado (Trad. P3) no perfil do centro da depressão (P3). Legenda: Kln - caulinita; Qtz - quartzo; Hem - hematita; Zrn - zircão; Rt - rutilo.	83
Gráfico 10 - Difração de raios X para a fração argila das amostras obtidas por trado (Trad. P3) no perfil do centro da depressão (P3). Legenda: Kln - caulinita; Gbs - gibbsita; Gt - goethita; Ant - anatásio; Zrn - zircão.	83

Sumário

1. Introdução.....	15
2. Importância do tema e Objetivos.....	17
2.1 Objetivos.....	21
3. Localização e Aspectos Geográficos da área de Estudo.....	22
3.1 Localização da Área	22
3.2 Aspectos Geográficos da Área de Estudo.....	23
4. Materiais e Métodos	26
4.1 Descrição e Coleta de Amostras no Campo	26
4.2 Confeção de Lâminas e Descrição Petrográfica do Perfil	26
4.3 Análise Granulométrica	27
4.4 Análise Química Total.....	27
4.5 Composição Mineralógica por Difração de raios X (DRX).....	27
5. Geologia Regional	29
5.1 Contexto Geológico Regional: Evolução do Conhecimento Geológico na Região do Triângulo Mineiro	29
5.2 A Bacia Bauru	30
5.2.1 Litoestratigrafia da Bacia Bauru.....	31
5.3 O Grupo Bauru	32
5.3.1 Formação Araçatuba.....	33
5.3.2 Formação Adamantina.....	34
5.3.3 Formação Uberaba.....	35
5.3.4 Formação Marília	36
6. Resultados e Discussões	40
6.1 Descrição e Análise Petrográfica.....	40
6.1.1 Caracterização dos perfis.....	40
6.1.2 Caracterização petrográfica	47

6.2 Perfil Granulométrico, Geoquímico e Mineralógico	73
6.2.1 Composição granulométrica	73
6.2.2 Óxidos totais	74
6.2.3 Caracterização mineralógica por Difractometria de Raios X.....	76
6.3 Hipótese sobre a formação das argilas aluminosas a partir da alteração e pedogênese do arenito do Membro Serra da Galga (Formação Marília)	84
7. Aspectos Econômicos.....	92
7.1 Argilas Refratárias	92
7.2 Calcário.....	93
7.3 Potencial Hidrogeológico	94
8. Conclusões.....	95
9. Bibliografia.....	97

1. Introdução

No Brasil, e na maior parte dos solos das regiões tropicais, horizontes pisolíticos ou crostas enriquecidas com ferro e/ou manganês em Latossolos são encontrados em platôs cobertos por vegetação típica de savana e indicam processos antigos e atuais de intemperismo e pedogênese tropicais (EZE, *et al.* 2014).

Apesar de sua ampla extensão e distribuição nas regiões tropicais, é comum haver dúvidas acerca da filiação entre as formações ferruginosas, a rocha fonte e a influência de fatores ambientais, erosionais e deposicionais que regem a evolução da paisagem (BEAUVAIS & ROQUIN, 1996, BUTT, *et al.*, 2000).

As dificuldades são principalmente devido à grande espessura dos solos tropicais, à evolução da paisagem em que ocorrem, às mudanças geoquímicas associadas às condições paleoclimáticas e aos processos erosionais e deposicionais que controlam a preservação e ocorrência da rocha fonte (BUTT *et al.*, 2000). Tais fatores contribuem para que ao longo da evolução as características químicas e mineralógicas da rocha sejam perdidas. Alguma similaridade geoquímica geralmente pode ser encontrada no saprólito e no horizonte manchado, contudo nas couraças ou ferricretes a herança geoquímica da rocha fonte pode ser perdida. Também, à medida que as condições ambientais mudam em relação àquelas que formaram os perfis encouraçados, o material anteriormente endurecido se degrada e novos materiais se reorganizam em solos argilosos, bioturbados e microagregados contendo fragmentos de crosta e nódulos (BEAUVAIS, 2009).

A formação e a degradação de crosta ferruginosa, a caracterização petrográfica, química e mineralógica dos materiais e suas relações com a paisagem justificam esta pesquisa. A área de estudo situa-se no contexto regional das chapadas do Triângulo Mineiro (Oeste do estado de Minas Gerais), entre os municípios de Uberaba e Uberlândia, onde a base litológica é representada pelos arenitos da Formação Marília. Os solos dos planaltos tabulares são muito argilosos e frequentemente comportam horizontes pisolíticos. Com base nos dados disponíveis atualmente na bibliografia, a relação de filiação dos solos com a rocha matriz é inconclusiva bem como as transformações morfológicas, geoquímicas e mineralógicas resultantes das condições ambientais atuais.

A hipótese deste trabalho é que o arenito do Membro Serra da Galga evoluiu para um perfil laterítico endurecido após profunda alteração química e que as atuais condições bioclimáticas são responsáveis pela desestabilização e transformação deste material.

O Membro Serra da Galga é composto por arenitos mal selecionados, com granulometria variando de grossa a fina, por vezes apresentando níveis conglomeráticos e estratificação plano-paralela. Em geral possuem cor amarela a vermelha, além de apresentar lamitos de cor marrom. Já as argilas aluminosas, em geral, apresentam a cor branca e possuem quartzo e gibbsita como constituintes principais. O horizonte manchado e a couraça ferruginosa preservam a estrutura do arenito enquanto o horizonte do topo é argiloso e conserva pisólitos formados pela destruição da couraça. A desferruginização em ambiente redutor característico das depressões topográficas do platô resulta em solo enriquecido em caulinita e gibbsita que se desenvolve sobre um horizonte manchado plúntico.

O objetivo central deste estudo é demonstrar, por meio de investigações de campo, análises petrográficas, mineralógicas e químicas, que os horizontes fortemente ferruginosos se formaram a partir dos arenitos da Formação Marília, mais especificamente do Membro Serra da Galga, e que com o avanço da pedogênese, estes materiais tenham propiciado a formação dos depósitos de argilas enriquecidas em alumínio presentes nas depressões topográficas no topo da chapada.

2. Importância do tema e Objetivos

As coberturas lateríticas são comuns nas estruturas cratônicas e tectonicamente estáveis das regiões intertropicais, e exibem grande complexidade química e mineralógica herdada de vários ciclos evolutivos (NAHON *et al.*, 1989; BRIMHALL *et al.*, 1991). Espessos mantos de intemperismo se formam sobre todas as litologias e desenvolvem uma matriz secundária argilosa que, de acordo com suas características morfológicas, mineralógicas e geoquímicas, é profundamente diferente do material original (BUTT *et al.*, 2000).

O Brasil comporta uma das maiores concentrações de caulim e bauxita do mundo e sua gênese está majoritariamente relacionada com os perfis lateríticos maduros (COSTA *et al.*, 2009). No estado de Minas Gerais, os planaltos tabulares (chapadas) do Triângulo Mineiro concentram depósitos de argila aluminosa, algumas em fase de exploração, descritos em estudos anteriores (por exemplo, SUGUIO *et al.*, 1976; ZAMBRANO, 1981 *apud* CORRÊA, 2006) e que também parecem ser o produto do intenso e longo processo de evolução supérgena tropical. Estas superfícies constituem-se em ambientes-chave para a compreensão de processos pedogenéticos atuais que resultam em mudanças das características físico-químicas e mineralógicas dos solos e das de perdas e enriquecimentos geoquímicos.

A área de estudo situa-se entre os municípios de Uberaba e Uberlândia, no Triângulo Mineiro, no domínio dos Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná, estando inserida na subunidade do Planalto Meridional da Bacia do Paraná (AB'SABER, 1963). Os planaltos tabulares (chapadas) são formas de relevos esculpidas nas unidades sedimentares supra-basálticas neocretáceas pertencentes ao Grupo Bauru.

Fernandes & Coimbra (1996) propuseram a denominação "Bacia Bauru" para a entidade geotectônica constituída pelos grupos Caiuá e Bauru. Estes grupos são representativos de um mesmo ambiente, formados sob clima quente, semi-árido nas bordas e desértico para o interior da bacia (RICCOMINI, 1995). No Triângulo Mineiro, o Grupo Bauru é composto por sedimentos flúvio-lacustres, depositados sobre basaltos da Formação Serra Geral e sotopostos a sedimentos inconsolidados de idade terciária (BARCELOS, 1984).

A Bacia Bauru formou-se no Neocretáceo, no centro-sul da Plataforma Sul-Americana, e desenvolveu-se como bacia continental interior, pós-ruptura do continente gondwânico, acumulando uma seqüência sedimentar essencialmente arenosa, hoje com espessura máxima de 300 m e área de 370.000 km² (FERNANDES & COIMBRA, 2000).

Dias-Brito *et al.* (2001) atribuíram a idade da Formação Marília como sendo Neomaastrichtiana, a partir do seu conteúdo de ostracódeos. O conteúdo fossilífero da Formação Marília é representado por restos de ostracódeos, quelônios, peixes, crocodilídeos, saurópodes.

Na região do Triângulo Mineiro afloram rochas das formações Uberaba, Adamantina e Marília, essa última dividida nos membros Ponte Alta, Serra da Galga e Echaporã (BATEZELLI, 2003). A chapada, na qual se situa a área de estudo, é sustentada pelos arenitos da Formação Marília, mais especificamente pelo Membro Serra da Galga, depositado entre aproximadamente 86 e 74 Ma. (SUGUIO, 1973), que recobre as formações mais antigas e aflora localizadamente nas bordas íngremes do planalto.

O membro Serra da Galga constitui-se predominantemente por subarcóseos líticos e, secundariamente, por litoarenitos, sublitoarenitos e litoarenitos feldspáticos, mal a pobremente selecionados (RIBEIRO, 2001). Tais arenitos são imaturos e formados em ambiente semi-árido, com cores amarelas a avermelhadas, originadas de sedimentação fluvial de leques aluviais e lagos efêmeros (SUGUIO, 1973). Também podem estar parcialmente cimentados ou conter nódulos de CaCO_3 e crostas de sílex de espessura centimétrica (FERNANDES & COIMBRA, 2000). Cutículas e agregados argilosos são compostos por illita, esmectita e interstratificado illita-esmectita (RIBEIRO, 2001).

Conforme apresentado no projeto RADAMBRASIL (1983), sobre os sedimentos do Grupo Bauru encontram-se coberturas terciárias, as quais são constituídas de argilas, areias e siltes já pedogeneizados, originando predominantemente latossolos vermelho-escuros e latossolos vermelhos-amarelos, os quais se sobrepõem a uma camada de crostas ferruginosas, de espessura variável.

Baccaro (1991) ressaltou a existência de um conglomerado basal, na parte inferior destas camadas ferruginosas, composto de fragmentos de arenitos e basaltos, enquanto ambas as margens dos canais fluviais ocorre uma massa significativa do solo hidromórfico, sobre fácies argilosa da Formação Marília (BACCARO, 1991).

É necessário ressaltar que, mesmo que a primeira vista, esses horizontes pareçam descontínuos, são evoluídos “*in situ*”, uns dos outros. O processo de alteração e pedogênese que transformam as rochas em solo podem conduzir a formação de vários níveis de organização pedológica, que se sobrepõem, aparentemente em discordância, como por exemplo, horizontes arenosos, horizontes nodulares, couraças ferruginosas e cascalheiras (LIMA & QUEIROZ, 1996).

Nahon (1991) explica como crostas ferruginosas conglomeráticas e horizontes nodulares podem-se formar no solo, "*in situ*", por auto-organização, como resultado de mudanças espontâneas e autônomas do sistema geoquímico dos solos, sem a intervenção de fatores externos, como os climáticos ou tectônicos. Tal explicação permite afirmar que as coberturas lateríticas encontradas nas chapadas do Triângulo Mineiro, em especial as sobre as Formações do Grupo Bauru, são coberturas pedológicas *in situ* oriundas das rochas subjacentes (LIMA & QUEIROZ, 1996).

De forma geral, os latossolos estão presentes nas partes melhor drenadas do platô enquanto os gleissolos estão presentes nas depressões topográficas insuficientemente drenadas, desenvolvidas na superfície do platô (ROSOLEN *et al.*, 2014), locais de extração das argilas aluminosas (argilas refratárias).

Coberta pela vegetação de Cerrado, esta região faz parte do núcleo da paisagem laterítica que está relacionada com as velhas superfícies de erosão tectonicamente estáveis do Escudo Central Brasileiro (MELFI, 1997). O clima é tropical com temperatura média anual de 23°C e precipitação média de 1464 mm/ano, sendo dezembro e janeiro os meses mais chuvosos (QUEIROZ, 2012).

As formações lateríticas têm importância metalogenética e são consideradas áreas potenciais para concentrações de reservas de Al, Ni, Co e Au entre outros (BRIMHALL *et al.*, 1991). Apesar do reconhecimento do valor econômico relacionado à existência de minerais industriais e metálicos, a exploração dos terrenos com rochas profundamente alteradas dificultam os estudos e a extração do material. A caracterização e o entendimento da gênese destes materiais são essenciais para a exploração mineral e para aprofundar a compreensão da história geológica das paisagens tropicais.

Na área de desenvolvimento desta pesquisa, as zonas com altas concentrações de argilas aluminosas caulínicas e gibbsíticas indicam serem formadas por processos de intemperismo e pedogênese tropicais que atuaram na superfície da chapada sedimentar. Nas áreas topograficamente deprimidas e hidromórficas as argilas são desferruginizadas e possuem teor de enriquecimento de alumínio que varia entre aproximadamente 20 e 70% (IBAR, comunicação oral).

Os fatores de enriquecimento não são claros, especialmente por se desenvolver sobre os níveis sedimentares da Formação Marília (Membro Serra da Galga). A possível relação quanto à filiação mineralógica destes materiais é inconclusiva apesar de ser um elemento chave que define a história geológica deste compartimento de paisagem brasileiro.

Dal'Bó & Basilici (2010) e Basilici *et al.* (2012) tratam da presença de paleossolos na Bacia Bauru, em especial das concentrações carbonáticas na Formação Marília. O principal agente das formações cálcicas e conseqüentemente de concentração dos carbonatos nos paleossolos foi a lixiviação de bicarbonatos e íons de cálcio, controlados pelo clima, que se caracterizou como o principal fator de controle e de diferenciação dos processos pedogenéticos nos níveis sedimentares. As estimativas de paleoprecipitação revelaram dois momentos distintos de evolução paleoclimática, um caracterizado por momentos de maior aridez (240 mm/ano), que permitiram o desenvolvimento de horizontes cálcicos e outro mais úmido (824 mm/ano), suficiente para lixiviar os carbonatos e favorecer os processos de dispersão e translocação de argilas nos horizontes argílicos (DAL'BÓ & BASILICI, 2010).

Por se tratar de uma sucessão estratigráfica espessa, apenas a caracterização do nível carbonático não pode ser considerado suficiente para explicar o ambiente supérgeno de formação de solo ou a dependência com o clima moderno.

No Brasil, de forma geral, os trabalhos sobre a caracterização de paleossolos concentram-se no reconhecimento e caracterização de formações de calcretes e silcretes (PIERINI & MIZUSAKI, 2007). No caso do Membro Serra da Galga, as frequentes discontinuidades laterais e das características do ambiente deposicional não permitem correlações entre as unidades (PIERINI & MIZUSAKI, 2007). O afloramento do membro Serra da Galga na borda dissecada do topo da chapada revela nível enriquecido, não com carbonatos de cálcio ou silcrete, mas com ferro individualizando uma couraça ferruginosa sobreposta a um nível manchado. Estes materiais sugerem que condições climáticas pretéritas e atuais agem em conjunto para formar e transformar as coberturas de alteração e de solo nos níveis estratigráficos sedimentares da Formação Marília.

Não há registros de estudos que detalhem a formação de couraça e sua relação com a gênese do mosqueamento no arenito no Triângulo Mineiro embora esta sequência possa representar um caso típico de degradação biogeoquímica de couraça laterítica. Exemplos deste processo típico das regiões tropicais e equatoriais foram apresentados por vários autores (NAHON, 1986, TARDY, 1993, BEAUVAIS, 2009).

Também, a formação do nível manchado pode ter ocorrido na base do perfil por expansão de condições de hidromorfia que resulta em translocação dos óxidos de ferro no perfil (VEPRASKAS, 1992, PETERSCHIMITT *et al.*, 1996). Mais recentemente Hong *et al.* (2010), descreveram a presença de veios e manchas brancas nos arenitos no sul da China e concluiu que sua formação se relaciona com um ambiente extremamente quente e úmido, que

lixiviou intensamente os óxidos de ferro. Na chapada, além do arenito, dominam solos argilosos com horizontes manchados e desferruginizados.

Com base em autores como Nahon (1991), Baccaro (1991), Lima & Queiroz (1996), que sustentam a possibilidade da formação *in situ* de coberturas lateríticas sobre solos arenosos, o cenário apresentado, referente a área de estudos, permite propor a hipótese de que há uma possível relação genética e filiação mineralógica entre a couraça ferruginosa e a alteração do sedimento do Membro Serra da Galga (Formação Marília) e entre a couraça ferruginosa e a formação de solos muito argilosos e aluminosos.

Os resultados apresentados neste trabalho contribuem para ampliar a compreensão da evolução de uma paisagem laterítica típica do cerrado brasileiro. O propósito é explicar as possíveis relações existentes entre os horizontes com propriedades minerais, geoquímicas e estruturais distintas, produzidas em meio laterítico, possivelmente a partir do sedimento arenítico com o qual não exibem uma clara continuidade lito ou pedoestratigráfica. São conjuntos de informações que permitem interpretar processos de formação e degradação de lateritas. Finalmente, considerando o aspecto econômico, uma vez que esta área é enriquecida em argila refratária, salienta-se que a alteração mineral supérgena laterítica é responsável por inserir o Brasil como um dos maiores produtores de minérios, como por exemplo, ser o terceiro produtor mundial de alumínio (bauxita) e quinto de caulim (DNPM, 2014).

2.1 Objetivos

A pesquisa tem como objetivo central avaliar a possível relação genética entre a alteração do arenito do Membro Serra da Galga (Formação Marília), a couraça ferruginosa e os solos argilosos e aluminosos presentes nas depressões topográficas da superfície da chapada. Para alcançar o objetivo principal, foram cumpridas as seguintes etapas:

- Caracterizar petrográfica, química e mineralogicamente a couraça ferruginosa, os níveis mosqueados e pisolíticos que compõem o perfil de afloramento laterítico sobre o arenito da Formação Marília e as argilas aluminosas das depressões topográficas;
- Caracterizar química e mineralogicamente o horizonte manchado encontrado na base da couraça e da argila aluminosa, visando interpretar os mecanismos de alteração e as condições ambientais que os formaram;
- Avaliar a importância da alteração e pedogênese tropicais para a economia da região do Triângulo Mineiro.

3. Localização e Aspectos Geográficos da área de Estudo

3.1 Localização da Área

A área de estudos (Figura 1) está situada na chapada sedimentar do Triângulo Mineiro, entre os municípios de Uberaba e Uberlândia, estando inserida no contexto geológico da Bacia Bauru, uma bacia de caráter intracratônico que abrange o centro-oeste de São Paulo, nordeste do Mato Grosso do Sul, sudeste do Mato Grosso, sul de Goiás e oeste de Minas Gerais (BATEZELLI, 2003).

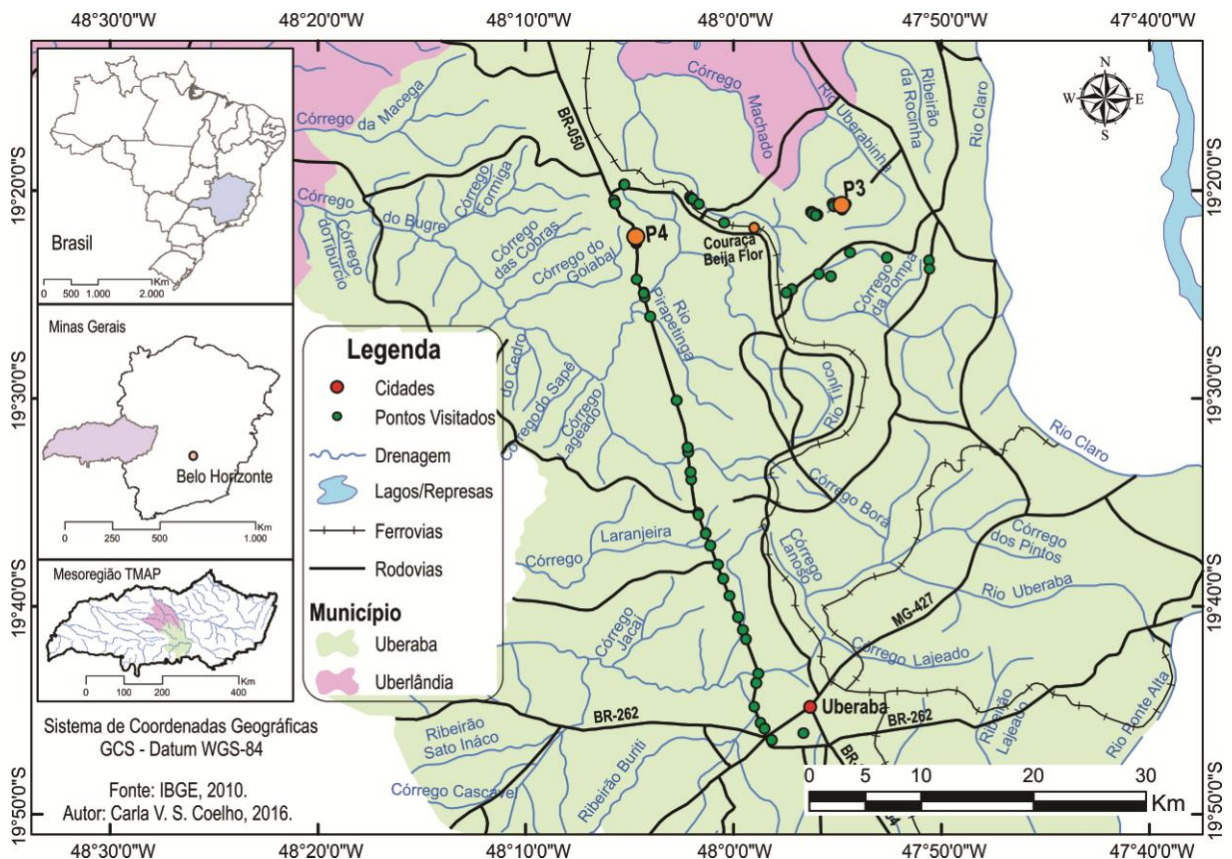


Figura 1 - Localização da área de estudos, com identificação dos locais do perfil da BR-050 (P4), perfil do centro da depressão (P3) e campos de murundus.

A área encontra-se a aproximadamente 50 km de Uberlândia e 40 km de Uberaba, sendo o acesso preferencial por ambas as cidades pela Rodovia Federal Radial BR-050, a sudoeste. A partir desta rodovia é possível entrar por uma das vias secundárias, geralmente estradas de terra, para ter acesso ao local.

O perfil P4 está localizado na Rodovia BR-50, na altura do Km 127, sentido Uberaba para Uberlândia. Neste ponto também foi feita uma tradagem manual (Trad. P4) para a amostragem de material mais profundo. Para acessar o perfil P3, situado no centro da depressão topográfica, deve-se pegar o acesso próximo ao posto Cinquentão, que marca a metade da distância entre as cidades de Uberaba e Uberlândia, e seguir sentido à área de

extração da empresa IBAR. Além das amostras coletadas na trincheira P3, foram coletadas amostras mais profundas com auxílio de trado manual (Trad. P3).

3.2 Aspectos Geográficos da Área de Estudo

A região entre os municípios de Uberaba e Uberlândia integra uma superfície plana, de cerca de 1000 m de altitude, situada no domínio dos Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná, inserida na subunidade do Planalto Meridional da Bacia do Paraná (AB'SABER, 1963). Possui relevo típico de chapada, com topo plano a suavemente ondulado, coberto com vegetação característica de cerrado.

No Triângulo Mineiro (porção Oeste do Estado de Minas Gerais), as chapadas sedimentares são formas residuais de uma antiga superfície de erosão, denominada por King (1956) de Superfície Sul-Americana, e recebe este nome por ter sido elaborada pelo ciclo de erosão "Sul-Americano".

Tal superfície data do final do Cretáceo (145 - 65 M.a.), quando a maior parte do continente Sul Americano consistia em uma superfície extensa, quase plana, com pequenas porções de rochas resistentes, como quartzitos, remanescentes de ciclos de erosão anteriores (MARQUES *et al.* 2004). As superfícies de aplainamento no Brasil Oriental constituem traço fundamental da paisagem, embora em algumas áreas eventos desnudacionais neocenozóicos agressivos tenham sido responsáveis, localmente, pelo desmantelamento de seus remanescentes (VALADÃO, 2009). Durante soerguimentos tectônicos que ocorreram durante o Terciário, as rochas mais antigas foram expostas ao intemperismo, resultando em novas superfícies de erosão que foram denominadas Velhas I e Velhas II (MARQUES *et al.*, 2004).

Os remanescentes da Superfície Sul-Americana, que constituem as chapadas atuais, com declives inferiores a 3% (MOTTA *et al.*, 2002) são revestidos por manto de alteração profundo, geoquimicamente bastante evoluído e contendo teores elevados de ferro, embora seu substrato litológico seja bastante diversificado (VALADÃO, 2009). Seus topos, esculpidos em espessa cobertura de sedimentos terciários, elevam-se entre 1.000 m e 1.100 m de altitude (MOTTA *et al.*, 2002). É comum a presença de encrostamentos lateríticos, frequentemente recobertos por horizonte arenoso (VALADÃO, 2009).

Essas bancadas lateríticas constituíram, também, obstáculo ao livre movimento da água infiltrada na chapada, fazendo com que o tempo de residência de água nos solos mais próximos das bordas se tornasse mais extenso, estabelecendo-se um gradiente de regime

hídrico entre o centro e as bordas do planalto, o que induziu à distribuição de solos hoje observada nas chapadas mais amplas da região (MOTTA *et al.*, 2002).

Independentemente da natureza do substrato rochoso, os solos dessa superfície mostram uma distribuição condicionada, sobretudo, pela variação do regime hídrico ao longo das vertentes suaves (MOTTA *et al.*, 2002). Em geral, tendem a ser muito argilosos e não parecem ter relação genética íntima com o substrato rochoso (MARQUES *et al.* 2004).

Os solos presentes na área são os Latossolos (solos lateríticos) desenvolvidos nos locais mais elevados do centro das chapadas e estão relacionados a condições de melhor drenagem interna e Gleissolos (áreas com hidromorfia) em áreas ligeiramente deprimidas, no interior ou próximo às bordas das chapadas. As áreas cobertas por Latossolos vermelhos, com cromas igual ou mais vermelho que 2,5 YR, são indicativas da presença de hematita na fração argila, enquanto Latossolos com cores amarelas são relacionados a ambientes mais úmidos e indicam a presença da goethita.

Períodos com condições climáticas mais úmidas propiciaram o aprofundamento do manto de intemperismo, e, num processo semelhante ao atual, ciclos alternados de oxidação e redução devem ter determinado, em áreas deprimidas, a segregação de ferro e formação de plintita em subsuperfície, precursora das concreções ferruginosas que agora persistem à borda das chapadas (MARQUES *et al.* 2004).

O clima atual é controlado pelas massas de ar continental (Equatorial e Tropical) e Atlântica (Polar e Tropical). Os deslocamentos dessas massas de ar são responsáveis pela marcante alternância de estações úmidas e secas. A temperatura média anual é de 23°C e a precipitação média é de 1464 mm/ano sendo os meses mais chuvosos dezembro e janeiro (QUEIROZ, 2012).

Em relação à vegetação, no Triângulo Mineiro e sul dos Estados de Goiás e Mato Grosso a floresta tropical latifoliada aparece somente nos vales fluviais da bacia hidrográfica do Paraná. Nas demais áreas predominam os cerrados. Sua fisionomia é intermediária entre a floresta e o campo, distinguindo-se dois tipos de vegetação: um arbóreo, formado por árvores de pequena altura (3 a 6 m), outro herbáceo que, quase sempre, não ultrapassa 0,50 m de altura, onde as gramíneas e ervas de pequeno porte se apresentam em tufo isolados (SUGUIO, 1973).

A região está situada no contexto geológico de bacia sedimentar continental interior, tendo como substrato rochoso os arenitos do Grupo Bauru. O grupo é constituído por sedimentos do Cretáceo Superior, acumulados a montante de Sete Quedas do Guaíra, na

grande área deprimida da região norte da bacia sedimentar do Paraná, associados às últimas manifestações tectônicas, de caráter mais ou menos amplo, desta bacia (SUGUIO, 1973).

Os sedimentos do Grupo Bauru foram depositados em uma bacia homônima, formada por compensação isostática posterior ao acúmulo de quase 2.000 m de lavas basálticas, ocorrido no Cretáceo Inferior (RICCOMINI, 1997; FERNANDES & COIMBRA, 2000; TAVARES, 2012), e ocupam a maior parte da porção ocidental do Estado de São Paulo. Ocorrem também no extremo oeste de Minas Gerais (Triângulo Mineiro), sul de Goiás e sul e leste de Mato Grosso.

A Bacia Bauru formou-se no Neocretáceo, no centro-sul da Plataforma Sul-Americana, e desenvolveu-se como bacia continental interior, pós-ruptura do continente gondwânico, acumulando uma sequência sedimentar essencialmente arenosa, hoje com espessura máxima de cerca de 300 m e área de 370.000 km² (FERNANDES & COIMBRA, 2000). A sequência tem por substrato basaltos da Formação Serra Geral (Grupo São Bento), dos quais é separada por não-conformidade, e limite superior erosivo, demarcado pela Superfície Sul-Americana ou sua posterior dissecação (FERNANDES & COIMBRA, 2000).

A passagem lateral entre os grupos Caiuá e Bauru é gradual e interdigitada (FERNANDES, 2004), o último é constituído pelas formações Araçatuba, Adamantina, Uberaba e Marília (BATEZELLI *et al.*, 2003).

A chapada estudada é sustentada pelos arenitos da Formação Marília, mais especificamente pelo Membro Serra da Galga, depositado entre aproximadamente 86 e 74 Ma. (SUGUIO, 1973) que recobre as formações mais antigas e aflora localizadamente nas bordas íngremes do planalto. A apresentação detalhada da geologia regional está no Capítulo 5.

4. Materiais e Métodos

4.1 Descrição e Coleta de Amostras no Campo

A descrição e coleta das amostras do perfil com arenito ferruginoso (P4) foram feitas no afloramento às margens da Rodovia BR-150, na altura do quilômetro 127. O perfil P4, com cerca de 600 cm de material aflorante, foi amostrado do topo (0 cm) até sua base (600 cm). Além do material aflorante, foram coletadas amostras de maior profundidade, a partir da base (600 cm) do P4 com o auxílio de um trado manual (Trad. P4), atingindo a profundidade de 900 cm. Foram coletadas 13 amostras indeformadas para confecção de lâminas e 20 amostras para as análises químicas, físicas e mineralógicas. Visando comparar os materiais para encontrar a possível filiação entre o solo ferruginoso e o solo enriquecido com argila aluminosa foram coletadas amostras no centro de uma depressão topográfica hidromórfica do topo da chapada (P3). Foi aberta uma trincheira (P3), com um perfil de solo e de alteração contíguo à área de mineração de argila refratária. Assim como no P4, foi feita uma tradagem (Trad. P3) a partir da base da trincheira (P3); foram coletadas 2 amostras indeformadas para confecção de lâminas e 14 amostras para realizar os mesmos procedimentos de laboratório acima referidos. Ainda foi feita a coleta de duas amostras próximas à linha férrea, representativos da alterita e de um arenito, os quais podem ser englobados na porção do horizonte manchado e saprólito. Foi confeccionada uma lâmina de cada amostra.

4.2 Confecção de Lâminas e Descrição Petrográfica do Perfil

As amostras indeformadas dos perfis P3 e P4 foram impregnadas sob vácuo, por capilaridade, com resina EPOXI (EPORESIN 1.204), diluída com acetona, monômero de estireno (40 a 60%) e catalisador (Peroxisol, de 3 a 5 gotas por litro). Após o endurecimento da resina, os monólitos foram cortados, confeccionadas seções delgadas (3 X 4,5 cm) e polidas com pasta diamantada. Os monólitos foram cortados e polidos no Laboratório de Laminação do Departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM) e no Laboratório de Laminação do UNESPetro. A interpretação das lâminas foi feita em microscópio petrográfico Olympus BX40 binocular (Laboratório de Microscopia do DPM). As fotos das lâminas foram obtidas no Laboratório de Inclusões Fluídas do DPM em microscópio petrográfico Zeiss Axioskop 40, com a câmera fotográfica Canon EOS e o programa EOS 5D Mark II; as

imagens foram tratadas utilizando o programa CorelDRAW X7. Foram confeccionadas e interpretadas 3 lâminas do perfil P3 e 13 lâminas do perfil P4 e uma lâmina do arenito.

4.3 Análise Granulométrica

A extração e quantificação das frações argila, silte e areia para realização das análises mineralógicas foram realizadas por peneiramento em via úmida e por pipetagem na EMBRAPA Meio Ambiente (Jaguariúna, SP), sendo assim, considera-se areia fina o intervalo entre 0,25 - 0,053 mm e fração silte entre 0,053 - 0,002 mm. Após remoção da matéria orgânica com H₂O₂ as amostras foram dispersas com hexametáfosfato de sódio (EMBRAPA, 1997). A fração areia foi determinada por peneiramento via úmida, a fração argila por pipetagem e a fração silte foi determinada pela diferença obtida entre subtração da soma das frações areia e argila da amostra inicial.

4.4 Análise Química Total

Foram quantificados os óxidos totais de silício (SiO₂), titânio (TiO₂), alumínio (Al₂O₃), ferro (Fe₂O₃), manganês (MnO), magnésio (MgO), cálcio (CaO), sódio (Na₂O), potássio (K₂O), fósforo (P₂O₅) em Espectrômetro de Fluorescência de Raios X (Laboratório de Geoquímica – DPM/UNESP). As amostras foram destorroadas e pulverizadas em almofariz de ágata, peneiradas, inicialmente em malha de 2 milímetros para obter a fração terra fina, e posteriormente foram pulverizadas em moinho com almofariz de ágata. Foram utilizadas pastilhas fundidas com borato de lítio, na proporção de 1:5. Os limites de detecção foram da ordem de 0,1 g kg⁻¹ para SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ e na ordem de 0,01 g kg⁻¹ para MgO, CaO, P₂O₅, Na₂O, K₂O e TiO.

4.5 Composição Mineralógica por Difração de raios X (DRX)

A composição mineralógica da amostra total, da fração argila e areia foi obtida por difratometria de raios X (DRX), realizada no Núcleo de Pesquisa em Geoquímica e Geofísica da Litosfera (NUPEGEL-ESALQ/USP). A fração areia foi obtida por peneiramento via úmida (retido na peneira com malha de 0,053 mm) e a argila por pipetagem após dispersão com hidróxido de sódio (EMBRAPA, 1997). Após secagem, as amostras naturais e em pó foram

analisadas em um difratômetro Phillips PW 1730 operado com potencial de 40 kV, com uso de monocromador para a eliminação da radiação $K\beta$, e fonte de Cu (radiação $K\alpha$, $\lambda=1,54186$ Å). A varredura foi realizada com passo de $0,02^\circ$ (2θ) e tempo de acumulação de 10 segundos por passo.

5. Geologia Regional

5.1 Contexto Geológico Regional: Evolução do Conhecimento Geológico na Região do Triângulo Mineiro

Os primeiros trabalhos sobre a mineralogia e a litologia da região do Triângulo Mineiro foram realizados por Hussak (1891) e Porcheron (1903). A Formação Bauru foi introduzida na literatura por Gonzaga de Campos (1905), com a denominação de "Grês Bauru" (SUGUIO, 1973). Mais tarde, em 1930, a Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo adotou o nome de "Formação Bauru" (BATEZELLI, 2003).

Em 1934, Barbosa em estudo sobre as águas subterrâneas na região de Uberaba, usou pela primeira vez o termo Formação Uberaba para denominar os arenitos esverdeados que cobrem os basaltos da Formação Serra Geral nesta localidade.

Posteriormente Hasui (1967) que apresentou o primeiro mapa geológico das rochas cretáceas do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, e estudou os arenitos da Formação Uberaba, caracterizou-os como rochas epiclásticas que apresentam conglomerado basal seguido por arenitos com cimentação carbonática e/ou matriz argilosa verde, associados a siltitos, argilitos, arenitos conglomeráticos e conglomerados arenosos (*apud* BATEZELLI, 2003).

Outras pesquisas foram introduzidas por autores como Suguio (1973), que estudou os calcários da região, constituindo a Fácies Ponte Alta julgando integrar o conjunto basal conglomerático da Formação Bauru.

A Fácies Ponte Alta introduzida por Suguio (1973) como parte da Formação Bauru, foi modificada por Barcelos *et al.* (1981) que propuseram modificações na litoestratigrafia da Formação Marília no Triângulo Mineiro, em duas litofácies: Ponte Alta (calcários) e Serra da Galga (arenitos imaturos e conglomerados sobrepostos). Em 1984, Barcelos apresentou a integração regional das unidades que se estendem no estado de São Paulo e no Triângulo Mineiro e propôs os membros Ponte Alta e Serra da Galga para a Formação Marília (FERNANDES, 1992).

Fernandes & Coimbra (2000) apresentaram um trabalho de revisão estratigráfica, em âmbito regional para a Bacia Bauru, onde redescreveram as características litoestratigráficas das unidades que compõem o Grupo Bauru, onde mantiveram as formações Uberaba e Marília, e sua subdivisão nos membros Echaporã, Serra da Galga e Ponte Alta, as quais serão descritas com maior detalhe durante a caracterização geológica da área de estudo.

5.2 A Bacia Bauru

A Bacia Bauru (Figura 2) formou-se no Neocretáceo, no centro-sul da Plataforma Sul-Americana, em evento de compensação isostática posterior ao acúmulo de quase 2.000 m de lavas basálticas, ocorrido no Cretáceo Inferior. O termo "Bacia Bauru" consiste em uma denominação proposta por Fernandes & Coimbra (1994) para a entidade geotectônica neocretácea constituída pelos grupos Caiuá e Bauru, que se instala sobre a área de ocorrência dos derrames basálticos, com depocentro coincidente com a maior espessura da pilha vulcânica (RICOMINI, 1995).

Tal entidade desenvolveu-se como bacia continental interior, pós-ruptura do continente gondwânico, acumulando uma seqüência sedimentar essencialmente arenosa, hoje com espessura máxima de cerca de 300 m e área de 370.000 km². A seqüência tem por substrato basaltos da Formação Serra Geral (Grupo São Bento), dos quais é separada por não-conformidade, e limite superior erosivo, demarcado pela Superfície Sul-Americana ou sua posterior dissecação (FERNANDES & COIMBRA, 2000).

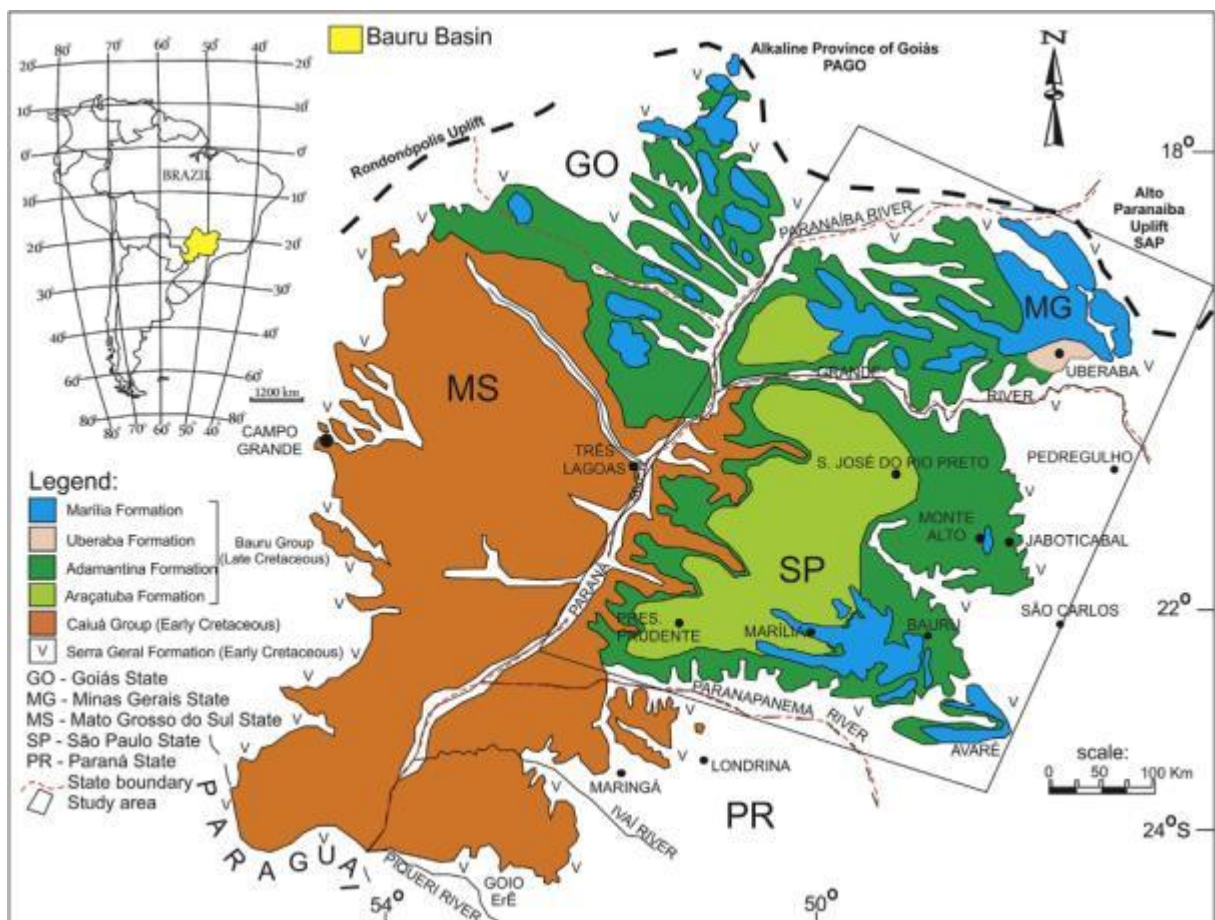


Figura 2 - Mapa geológico apresentando as unidades que compõem o Grupo Bauru (BATEZELLI & LADEIRA, 2016).

A sequência sedimentar, constituída por depósitos continentais essencialmente arenosos, é dividida em dois grupos cronocorrelatos, Caiuá e Bauru, representativos de um mesmo ambiente, sob clima quente (RICOMINI, 1995), semi-árido a árido, entre o Coniaciano e Maastrichtiano (Ks) (FERNANTES & COIMBRA, 2000).

O Grupo Caiuá localiza-se na porção central da Bacia Bauru; rumo às bordas leste e norte ocorre o Grupo Bauru (RICOMINI, 1995). O conjunto litológico dessa bacia representa um intervalo deposicional continental, iniciado com um provável nível de base lacustre, colmatado gradualmente por um sistema aluvial, resultante do soerguimento acentuado de suas bordas norte, nordeste e leste (BATEZELLI *et al.*, 2003). O primeiro grupo corresponde a trato de sistemas eólico interior do Deserto Caiuá, enquanto o segundo corresponde a depósitos de trato de sistemas de clima semi-árido formado por leques aluviais marginais, lençóis de areia atravessados por sistemas fluviais efêmeros e zona endorrêica paludial (MILANI *et al.*, 2007).

Esta bacia possui forma aproximadamente elíptica, com eixo maior na direção nordeste (RICOMINI, 1997). Os limites atuais da Bacia Bauru são essencialmente erosivos e/ou tectônicos, desenhados pela Antéclise de Rondonópolis a noroeste, soerguimento do Alto Paranaíba a nordeste, alinhamentos do Rio Mogi Guaçu, São Carlos-Leme e Ibitinga-Botucatu a leste e do Paranapanema a sul e sudeste (RICOMINI, 1995). A oeste seu limite é encoberto dado à grande área dominada por depósitos de cobertura sedimentar aluvial de idade terciária (planície do Rio Paraná) (BATEZELLI, 2003).

5.2.1 Litoestratigrafia da Bacia Bauru

A sequência suprabasáltica neocretácea é composta pelos grupos Bauru e Caiuá (FERNANDES & COIMBRA, 2000). Seu contato basal é discordante (não-conformidade), sobretudo com basaltos da Formação Serra Geral (Grupo São Bento). A passagem lateral entre os grupos Caiuá e Bauru é gradual e interdigitada (FERNANDES, 2004).

O Grupo Caiuá ocorre nos Estados do Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul, possuindo, assim, menor relevância para a compreensão da área de estudo, a qual compreende o Triângulo Mineiro (Figura 3). O Grupo é composto pelas formações Rio Paraná, Goio Erê e Santo Anastácio.

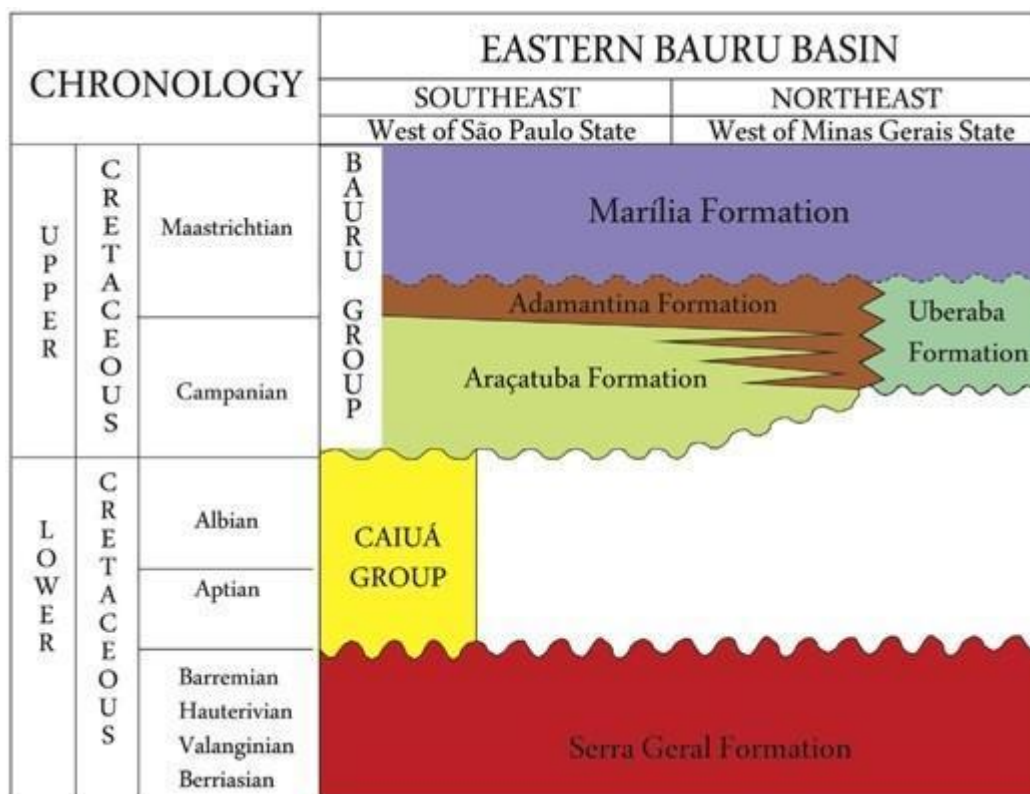


Figura 3 - Carta cronoestratigráfica da Bacia Bauru (BATEZELLI, 2016).

O Grupo Bauru ocorre principalmente em São Paulo, no Triângulo Mineiro e norte do Paraná. Por ser o Grupo com maior expressão na área de estudo, sua litoestratigrafia será abordada com maior detalhe.

5.3 O Grupo Bauru

Há algumas discordâncias quanto à nomenclatura e divisão das formações que compõem o Grupo Bauru, de modo que neste trabalho será adotada a nomenclatura adotada por autores como Almeida *et al.* (1980), Riccomini (1995 e 1997), Batezelli (2003), Silva *et al.* (2005), Basilici *et al.* (2009).

O Grupo Bauru corresponde a depósitos de trato de sistemas de clima semi-árido, formado por leques aluviais marginais, lençóis de areia atravessados por sistemas fluviais efêmeros e zona endorrêica paludial, que alimentaram o deserto interior correspondente ao Grupo Caiuá (MILANI *et al.*, 2007).

O Grupo Bauru compreende um pacote sedimentar cretáceo, pertencente à Bacia do Paraná, que aflora em área de cerca de 117.000 km² no Estado de São Paulo, tendo como substrato as rochas basálticas da Formação Serra Geral e, localmente, os sedimentos das

formações Botucatu e Pirambóia, como na região de Bauru (SP) e Agudos (SP) (SILVA *et al.*, 2005).

Na região do Triângulo Mineiro afloram rochas das formações Uberaba, Adamantina e Marília, essa última dividida nos membros Ponte Alta, Serra da Galga e Echaporã (BATEZELLI, 2003). Contudo, na área de estudos foi registrada a ocorrência das formações Adamantina e Uberaba e os membros Ponte Alta e Serra da Galga, pertencentes à Formação Marília, além dos basaltos da Formação Serra Geral, o membro Echaporã aflora apenas na porção oeste do Triângulo Mineiro.

5.3.1 Formação Araçatuba

A Formação Araçatuba delimita a base do Grupo Bauru, seu contato basal é discordante tanto em relação aos basaltos da Formação Serra Geral, quanto aos arenitos do Grupo Caiuá. Seu contato superior e lateral com a Formação Adamantina se dá de forma gradual e interdigitada (BATEZELLI *et al.*, 2003).

As rochas desta formação ocorrem na região de Araçatuba (SP), nos vales do rio Tietê e Aguapeí/Feio, apresentando espessura máxima da ordem de 70 metros, sua seção tipo encontra-se na rodovia SP-300, no km 548,5, nas proximidades da cidade homônima (FERNANDES & COIMBRA, 2000). A ocorrência mais setentrional dessa unidade é registrada na região de Jales, onde a seção atinge 21 m de espessura (BATEZELLI *et al.*, 2003). Sendo assim, é possível afirmar que a Formação Araçatuba tem ocorrência restrita ao estado de São Paulo e não possui representatividade na área de estudos, situada no Triângulo Mineiro.

A análise de fácies realizadas por Batezelli *et al.* (2003), constatou que a Formação Araçatuba é constituída por duas associações faciológicas, as quais os autores denominaram: Associação arenosa e Associação silto-arenosa. A primeira, formada por lentes métricas de arenito muito fino a fino, ora maciço, ora com estratificações cruzadas de médio porte, sendo comuns estratificações plano-paralelas e marcas onduladas. A segunda, constituída por siltitos arenosos maciços ou com laminação plano-paralela e marcas onduladas, por vezes intercaladas por camadas delgadas de arenito muito fino com granodecrescência ascendente (BATEZELLI *et al.*, 2003).

A análise dos perfis e das características litológicas da Formação Araçatuba evidencia uma sucessão com amplo predomínio de fácies pelíticas sobre fácies psamíticas, indicativa de um ambiente deposicional lacustre (SILVA *et al.*, 2005). O contexto deposicional da

formação foi um ambiente paludal, de águas salinas rasas, pouco agitadas, sujeitas a períodos de exposição, tendo se acumulado em área de caráter endorrêico, baixa e alagadiça, de águas rasas e estagnadas (FERNANDES & COIMBRA, 2000).

Do ponto de vista bioestratigráfico, a Formação Araçatuba é portadora de material micropaleontológico (ostracodes e carófitos), o que permite posicioná-la no intervalo Turoniano-Santoniano ou Campaniano-Eomaastrichtiano (BATEZELLI *et al.*, 2003).

5.3.2 Formação Adamantina

Em alguns trabalhos como o de Fernandes (1998), Fernandes & Coimbra (2000), Corrêa (2006), Milani *et al.* (2007), Fernandes & Basilici (2009), a Formação Adamantina é substituída pela Formação Vale do Rio do Peixe. Segundo Fernandes (2004), a Formação Vale do Rio do Peixe corresponde à grande parte da Formação Adamantina, sendo assim, neste trabalho optou-se por utilizar a nomenclatura proposta por Soares *et al.* (1980), uma vez que tal nomenclatura parece ter maior sustentação bibliográfica.

Devido a variações faciológicas que são comumente observadas em perfis da Formação Adamantina e refletem a extrema variabilidade dos depósitos continentais de origem fluvial. Essas variações têm sido responsáveis pela profusão de diferentes designações para uma mesma unidade estratigráfica (SILVA *et al.*, 2005).

Esta formação é a de mais ampla distribuição aflorante dentre as formações do Grupo Bauru (ALMEIDA *et al.*, 1980), sendo reconhecida nos estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais (Triângulo Mineiro) e São Paulo (TAVARES *et al.*, 2012). A Formação Adamantina foi formalmente proposta por Soares *et al.* (1980) como um conjunto de fácies compostas por bancos de arenito portando estratificação cruzada, intercalados a bancos de lamitos siltitos e arenitos lamíticos (SILVA *et al.*, 2005).

Segundo Batezelli (2003), no Triângulo Mineiro, a Formação Adamantina aflora na região centro-oeste. É constituída por arenitos finos a médios, avermelhados, com seleção moderada, estratificação cruzadas de pequeno a médio porte, estratificação plano-paralela e, subordinadamente marcas onduladas.

O contato inferior da Formação Adamantina é discordante com os basaltos da Formação Serra Geral, com contato abrupto e erosivo. Lateralmente apresenta-se interdigitado com a Formação Uberaba; seu contato superior é concordante interdigitado a abrupto com a Formação Marília (BATEZZELI, 2003; SILVA *et al.*, 2005).

Segundo Tavares *et al.* (2012) o ambiente de sedimentação da Formação Adamantina foi um ambiente fluvial meandrante com porções anastomosadas no estado de São Paulo, tendo registros fósseis de restos de moluscos, conchostráceos, peixes, quelônios, crocodilimorfes, oogônios e restos vegetais petrificados.

5.3.3 Formação Uberaba

A Formação Uberaba, proposta por Hasui (1968), ocorre apenas na região do município de Uberaba, seu contato inferior corresponde a uma não-conformidade com basaltos da Formação Serra Geral, é encoberta pelo Membro Serra da Galga, que pertence à Formação Marília (FERNANDES & COIMBRA, 2000).

A Formação Uberaba, restrita ao Triângulo Mineiro, consiste de rochas epiclásticas de derivação vulcânica, dispostas em estratos tabulares e lenticulares amalgamados (GRAVINA, 2008). Os tipos petrográficos correspondem a arenitos muito finos a lamitos siltosos, arenitos finos subordinados, com matriz argilosa. Exibe cor cinza-esverdeado a verde-oliva típica (FERNANDES & COIMBRA, 2000).

As estruturas sedimentares presentes são basicamente estratificações cruzadas acanaladas e tabulares de pequeno a médio porte, estratificação plano-paralela, feições acanaladas e algumas estruturas deformacionais e de injeção de argila, na forma de estruturas em chama e dobras convolutas (BATEZELLI, 2003).

A unidade apresenta ainda, intercalações menos expressivas de argilitos, arenitos conglomeráticos e conglomerados de matriz arenosa (FERNANDES & COIMBRA, 2000). As rochas são classificadas como litoarenitos a litoarenitos feldspáticos e sublitoarenitos segundo a classificação de McBride (1963) (*apud* BATEZELLI *et al.* 2007).

Em termos texturais, os arenitos dessa formação apresentam seleção moderada, sendo freqüentes intraclastos de argila e de rocha basáltica com tamanhos submilimétricos a centimétricos. É comum também a presença de nódulos carbonáticos ou de níveis cimentados por carbonato de cálcio (BATEZELLI, 2003).

Essa unidade corresponde a depósitos de sistema fluvial entrelaçado, com predomínio de macroformas de acreção a jusante e formas de crescimento lateral restritas (FERNANDES & COIMBRA, 2000).

5.3.4 Formação Marília

A Formação Marília foi designada por Almeida e Barbosa (1953) se referindo a arenitos grossos e conglomeráticos, cimentados por calcita, e correspondentes à parte superior do Grupo Bauru (TAVARES *et al.*, 2012). As rochas apresentam teor de matriz variável e raras camadas descontínuas de lamitos vermelhos e calcários (SILVA *et al.*, 2005).

A abundância de cimento calcífero em suas litologias propiciou um arcaço resistente à erosão, responsável pela sustentação das escarpas dos planaltos de Marília, Garça e Echaporã. Esta sucessão sobrepõe-se às formações Adamantina e Uberaba por meio de contato interdigitado a abrupto; seu limite superior é marcado pela superfície topográfica atual (SILVA *et al.*, 2005).

A formação Marília possui espessura média de 60 metros. É constituída por arenitos e arenitos conglomeráticos com freqüentes estratificações cruzadas (acanaladas e planares) e por conglomerados clasto-suportados polimícticos, contendo seixos arredondados de quartzo, quartzito, xistos, escassos fragmentos de chert e basalto, bem como intraclastos pelíticos e carbonáticos (RIBEIRO & CARVALHO, 2007).

Segundo Gravina *et al.* (2008), os arenitos conglomeráticos são compostos por fragmentos de argilito, grânulos de basalto e de arenito. O carbonato ocorre como concreções ou nódulos, cimento, fragmentos fósseis ou, ainda, como preenchimento de microfaturas. A matriz é de areia fina composta por quartzo, magnetita, granada, fragmentos líticos e feldspato, com traços de mica, zircão e piroxênio.

A Formação Marília segundo Fernandes (1992) compreende depósitos arenosos imaturos, texturalmente, com teor variável de matriz, seleção pobre e grãos angulosos, mineralogicamente ricos em feldspatos e minerais pesados instáveis. Apresenta ainda, níveis conglomeráticos, com frequente cimentação e concreções carbonáticas (FERNANDES, 1992).

Dias-Brito *et al.* (2001) atribuíram a idade Neomaastrichtiana para a Formação Marília, a partir do seu conteúdo de ostracodeos. O conteúdo fóssilífero da Formação Marília é representado por restos de ostracodeos, quelônios, peixes, crocodilídeos, saurópodes.

A formação foi subdividida por Barcelos (1984) em três membros: Ponte Alta, Serra da Galga e Echaporã, sendo os dois primeiros aflorantes na parte leste do Triângulo Mineiro, enquanto o Membro Echaporã aflora na parte oeste.

Estudos correlacionam o Membro Ponte Alta a fácies carbonática e o Serra da Galga a fácies clásticas, com um modelo deposicional de leques aluviais dominados por canais

fluviais entrelaçados (*braided*), submetidos a um clima semi-árido, com pequenos lagos e lagoas (RIBEIRO *et al.*, 2012).

5.3.4.1 Membro Ponte Alta

Ocorre somente no Triângulo Mineiro, formado por calcários. O Membro Ponte Alta caracteriza a porção basal da Formação Marília assentando-se de forma gradacional sobre a Formação Uberaba e constitui núcleos ou zonas tabulares interiores do Membro Serra da Galga, criados por cimentação posterior à deposição (FERNANDES & COIMBRA, 2000).

O Membro Ponte Alta é formado por calcários impuros, apresentando espessura entre 10 e 20 metros, agrupando três litotipos básicos: 1) calcário arenoso - de aspecto maciço, 2) calcário conglomerático - de matriz arenosa (cascos de burro), e 3) calcário fino fragmentado (FERNANDES & COIMBRA, 2000). Predominam os calcários arenosos.

Ainda segundo Fernandes e Coimbra (2000), supõe-se que a cimentação carbonática seja posterior e a associação de litofácies que compõe o Membro Ponte Alta sugere deposição em sistema fluvial entrelaçado, com fluxos de alta energia e curta duração, de partes medianas a distais de leques aluviais marginais.

Economicamente, representa a mais importante unidade estratigráfica regional, a suas rochas carbonáticas já foram atribuídos usos como o fabrico da cal, notadamente no século passado, produção do cimento no bairro de Ponte Alta, como corretivo de solo na agricultura e até como rocha ornamental (RIBEIRO *et al.*, 2012).

5.3.4.2 Membro Serra da Galga

O Membro Serra da Galga tem importância maior neste trabalho por ser o material considerado fonte que, após alteração e pedogênese policíclica, originaram as couraças ferruginosas e as argilas aluminosas. Tal litologia pode ser considerada como a de sustentação as chapadas do Triângulo Mineiro (Figura 4) uma vez que o Membro Ponte Alta é menos expressivo em área.



Figura 4 - Visão do perfil de uma das superfícies de chapada do Triângulo Mineiro.

A unidade possui contato aparentemente interdigitado, complexo e irregular com o Membro Ponte Alta (Fernandes, 1998).

Ocorre apenas na borda nordeste da Bacia Bauru, no Triângulo Mineiro e é formado por arenitos imaturos, grossos a finos, frequentemente conglomeráticos, de cores amarelas a avermelhadas e lamitos de cor marrom. Apresenta estratificação cruzada tabular e acanalada (FERNANDES, 2004). Tal membro apresenta a associação faunística mais representativa do Grupo Bauru, sendo similar àquela da Formação Adamantina (TAVARES *et al.*, 2012).

O Membro Serra da Galga representa sequência siliciclástica composta por sucessões cíclicas de conglomerados clasto-suportados e arenitos médios e grossos, com frequentes estratificações cruzadas acanaladas. Aparecem ainda depósitos pelíticos definidos como fácies de abandono de canal e depósitos arenosos com contribuição pelítica, gerados por discretos fluxos de detritos (RIBEIRO *et al.*, 2012).

Os clastos das litofácies conglomeráticas são mal selecionados, de dimensões e grau de arredondamento variado. São constituídos de quartzo, quartzito, calcedônia, nódulos carbonáticos remobilizados, arenitos, pelitos, fragmentos de basalto e outras possíveis rochas ígneas alteradas, além de fragmentos de ossos. São sustentados por matriz arenosa, em geral com pouca lama (FERNANDES & COIMBRA, 2000).

Segundo Ribeiro (2001), os arenitos podem estar parcialmente cimentados por CaCO_3 , eventualmente conter crostas de sílex de espessura centimétrica.

Segundo Fernandes & Coimbra (2000), o contexto deposicional do Membro Serra da Galga são leques aluviais medianos a distais com sistemas fluviais entrelaçados associados

eventualmente a alternância de depósitos de pequenas dunas eólicas. Neste contexto, intercalam-se ainda depósitos de fluxos densos esporádicos.

Após a deposição das rochas deste membro, as condições climáticas de semi-aridez permaneceram, o que proporcionou a formação de crostas endurecidas (calcretes e palicretes). O processo de formação de calcretes proporcionou a dissolução, parcial a total, de grãos siliciclásticos do arcabouço, promovendo um posterior enriquecimento em SiO₂ nos fluidos percolantes (RIBEIRO, 2001).

O Membro Serra da Galga tem contato interdigitado, complexo e irregular com o Membro Ponte Alta. Essa unidade tem sua origem de leques aluviais, com sistemas fluviais entrelaçados.

5.3.4.3 Membro Echaporã

O Membro Echaporã constitui a maior área de afloramentos da Formação Marília, ocorrendo no estado de São Paulo, no sudoeste de Minas Gerais, no sul de Goiás e no nordeste do Mato Grosso do Sul (BASILICI *et al.*, 2012).

Ocorre ainda na região oeste do Triângulo Mineiro, sendo composto por arenitos finos a grossos, com intercalações conglomeráticas, na forma de ciclos granodecrescentes, cimentados por carbonato de cálcio (TAVARES, 2012).

Segundo Fernandes & Coimbra (2000) há intercalações de lamitos e arenitos lamíticos, de cor marrom, sendo mais frequentes nas partes interiores da bacia. Os argilominerais mais comuns na unidade são illita e esmectita e a cimentação carbonática posterior chega a romper clastos, por crescimento expansivo (*displacive*).

Segundo Bertini *et al.* (2001), os arenitos do membro são de finos a médios, mineralógica e texturalmente imaturos, apresentando cimentação e concreções carbonáticas, formando estratos maciços, de espessuras métricas, às vezes com estratificações subhorizontais incipientes ou cruzadas de médio porte, podendo ainda apresentar intercalações decimétricas de siltitos.

O contexto deposicional do Membro Echaporã corresponde a partes distais (saías) de leques aluviais, acumuladas por fluxos em lençol. Contém intercalações de depósitos de pavimentos detríticos de deflação e calcretes pedogenéticos, formados em intervalos de exposição (FERNANDES & COIMBRA, 2000).

6. Resultados e Discussões

6.1 Descrição e Análise Petrográfica

6.1.1 Caracterização dos perfis

O material analisado neste trabalho é proveniente de afloramentos de corte de estrada na rodovia BR-050 (P4), km 127 e 128 (P4) sentido Uberaba e de abertura de trincheira no centro da depressão topográfica (P3).

Para procurar estabelecer uma relação estratigráfica e dos horizontes pedológicos, bem como situar topograficamente os perfis, foi elaborado um perfil topográfico no qual é possível verificar que o perfil P4 está em torno de 973 m de altitude e o perfil P3 encontra-se a 979 m de altitude, sendo assim, há um desnível positivo de 6 metros entre o perfil P3 e o perfil P4, estando o perfil do centro da depressão (P3) sobreposto ao perfil BR-050 (P4) (Figura 5).

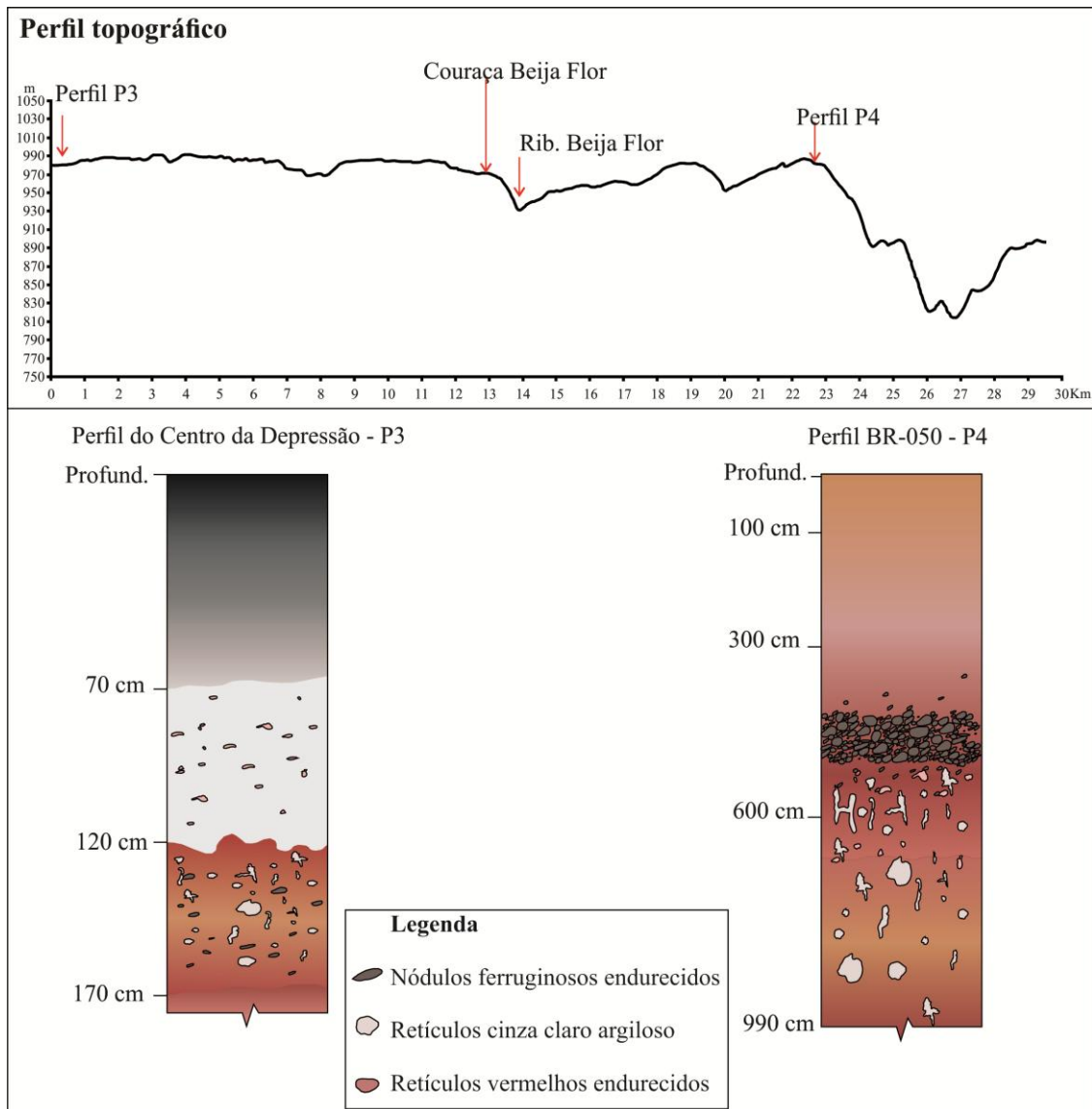


Figura 5 - Perfil topográfico indicando a localização topográfica dos perfis estudados.

O perfil P4 foi dividido em três horizontes, levando em consideração sua gênese: friável nodular, de couraça e horizonte manchado saprolítico (Figura 6), baseando-se na cor, textura e feições marcantes.

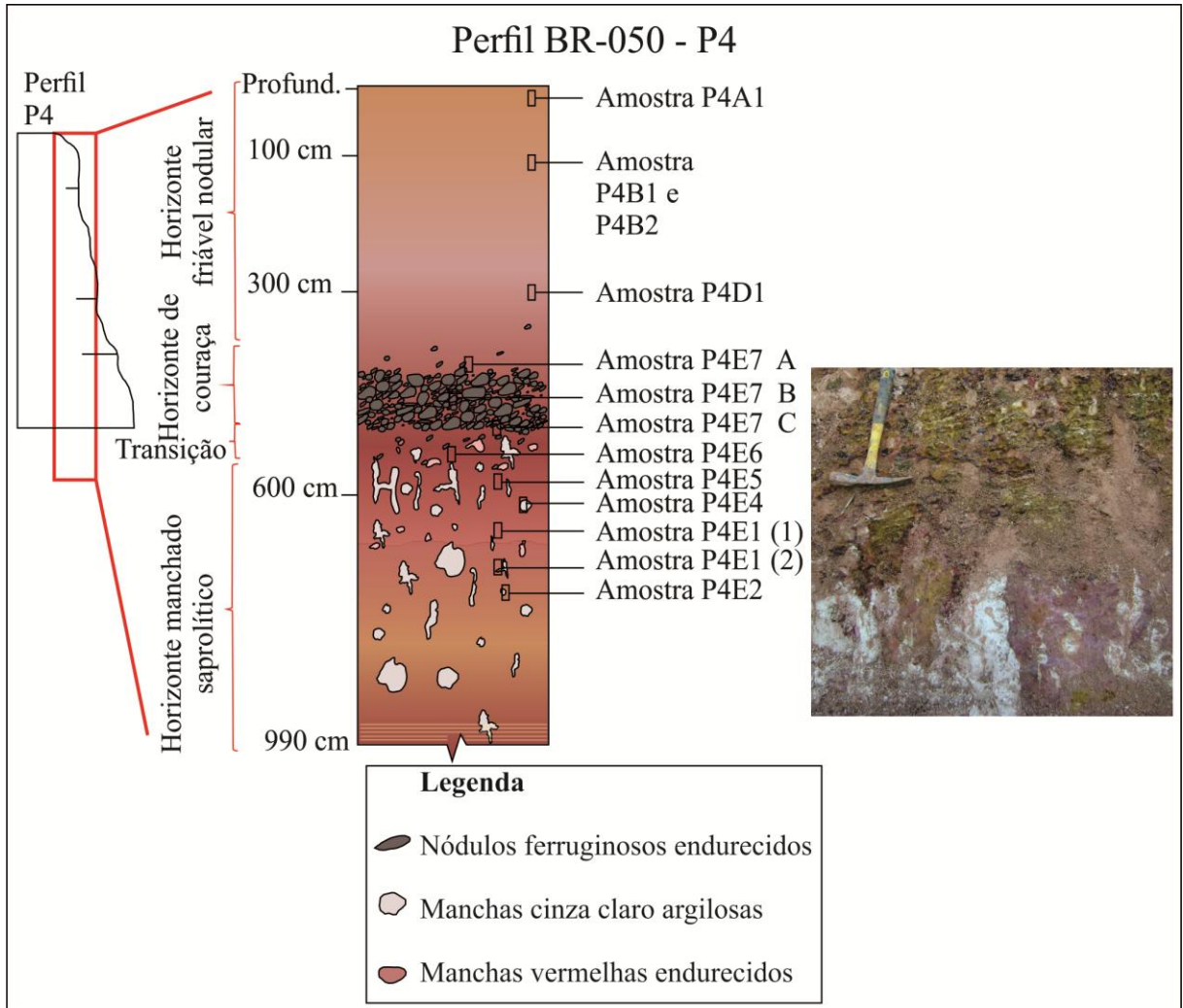


Figura 6 - Perfil esquemático do afloramento estudado, no canteiro da rodovia BR-050, km 127.

O perfil (P4) analisado consiste em uma exposição de solo e saprolito, com cerca de 600 cm de espessura e 300 cm de solo que foi tradado (Trad. P4) formando assim um perfil de 900 cm, com cor predominantemente vermelha escura, sendo a porção do topo aparentemente mais arenosa, com alto teor de quartzo e presença de nódulos endurecidos. Da parte central para a base, apresenta um nível ferruginoso endurecido, que possui certa orientação, lembrando estruturas sedimentares plano-paralelas (Figura 7). E abaixo deste nível, encontra-se o horizonte manchado e saprolito.



Figura 7 - Lentes de argila branca orientadas horizontalmente entre as camadas de deposição sedimentar que, em conjunto com o material argiloso amarelo, formam um retículo que isola concreções ferruginosas muito duras, vermelhas muito escuras.

O horizonte friável nodular no topo, entre 0 a 300 cm, onde há a predominância de um material mais argiloso, coloração avermelhada, rico em quartzo, contendo também óxidos de ferro e micas, além disso, encontram-se nódulos avermelhados endurecidos com quartzo no interior.

No centro do perfil, entre 300 e 440 cm encontra-se o horizonte de couraça, que consiste na transição entre um nível ferruginoso mais argiloso, com 40 cm de espessura e um nível ferruginoso concrecionário, com cerca de 50 cm de espessura e abaixo a transição ferruginosa, com menor concentração de pisolitos, com cerca de 50 cm de espessura. O horizonte ferruginoso concrecionário é constituído por nódulos que apresentam uma orientação estratigráfica plano-paralela (Figura 8).



Figura 8 - Horizonte de couraça e Horizonte manchado, no qual o horizonte de couraça parece apresentar relíquias de uma estratificação sedimentar.

Os nódulos ferruginosos são arredondados concrecionários (Figura 9) e é marcante a presença de material argiloso de cores amarela e vermelha nos interstícios destes nódulos. São vermelhos escuros (10R 2.5/2) com bordas e retículos de alteração (córTEX) composto por argila vermelha (2,5YR 5/8), amarela avermelhada (7,5YR 6/8) e núcleos cinza claros (2,5Y 7/1). São extremamente duros e cimentam esqueleto quartzoso que se assemelha ao do arenito ferruginoso.

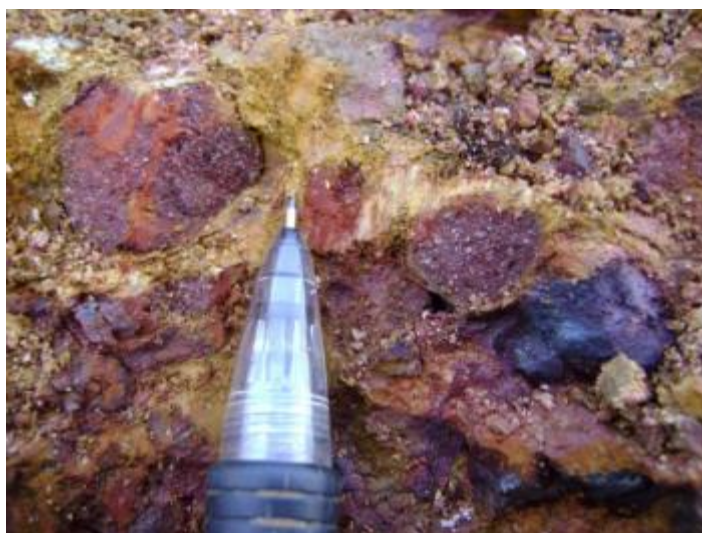


Figura 9 - O nível concrecionário é constituído por concreções arredondadas vermelhas escuras ou formando estruturas laminares fraturadas e quebradas, com limites angulosos. Apresentam córTEX de alteração vermelho e amarelo.

Na base do perfil exposto, abaixo do nível ferruginoso endurecido (horizonte de couraça), há um horizonte argiloso, marcado pela presença de manchas brancas a cinza em meio à matriz vermelha. Essas manchas formam volumes centimétricos de material argiloso, nos quais podem ser encontrados nódulos de material avermelhado (Figura 8).

Este nível recebe o nome de horizonte manchado saprolítico, no qual o avanço da pedogênese na matriz vermelha pode ser visto através do desenvolvimento do material friável, argilo-arenoso, vermelho muito claro (*pink* 5YR 7/3) que penetra irregularmente, do topo para a base, nos horizontes de arenito, isolando concreções ferruginosas (Figura 10) e apresenta núcleo cinza-esbranquiçado, argiloso. O horizonte manchado reticulado avança da parte inferior da couraça e forma o horizonte de transição com 110 cm de espessura, de rocha muito alterada. Com o trado manual foram perfurados 390 cm, obtendo material similar ao exposto.



Figura 10 - O avanço da pedogênese no horizonte manchado refletido no desenvolvimento de um material friável, argiloso, vermelho claro que penetra do topo para a base todas as outras fácies descritas.

A transição gradativa entre o horizonte de couraça e o manchado corresponde ao dismantelamento da couraça com aparecimento de matriz amarela e cinza-esbranquiçado. Ela isola nódulos ferruginosos muito duros vermelhos escuros (Figura 11), nódulos friáveis vermelhos e amplos volumes anastomosados brancos muito argilosos, alguns com bordas amarelas vivas ou com volumes vermelhos ferruginosos no interior dos núcleos. Podem ainda conter zonas com volumes e pontuações que integram estas três matrizes (vermelha, branca e amarela) (Figura 12).

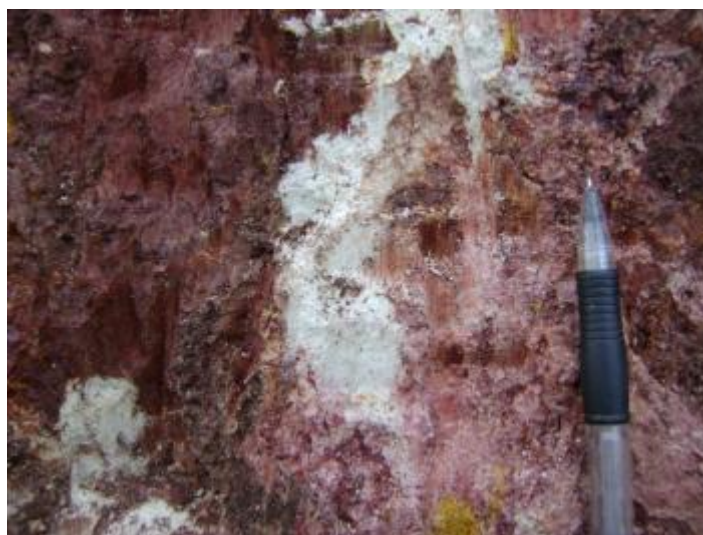


Figura 11 - Núcleo centimétrico de material ferruginoso, muito endurecido, vermelho escuro, amarelo e branco argiloso.



Figura 12 - Zonas completamente brancas associadas com outras compostas por numerosas pontuações que integram as três matrizes vermelha, branca e amarela.

O horizonte manchado saprolítico (base do perfil) é muito argiloso. Associa matriz branca (entre 0,5 - 20 cm de largura) distribuída de forma irregular e isolada ou formando retículos isolando matrizes vermelha com núcleos endurecidos e matriz amarela. A fase amarela se desenvolve dentro da fase vermelha ou entre a fase vermelha e branca (Figura 13). Porém, o contato entre as manchas pode ser abrupto. As manchas são interrompidas abruptamente pela penetração a partir do topo de uma matriz argilosa solta, vermelha pálida ligeiramente microagregada.



Figura 13 - Foto geral e foto de detalhe mostrando a interligação entre as matrizes vermelha, branca e amarela, apresentando as diferentes maneiras como apresenta-se no perfil.

No centro da depressão topográfica foi aberta uma trincheira (P3) e realizada uma tradagem com trado manual (Trad. P3). Este perfil corresponde a um solo saturado pelas águas do freático e de precipitação, sendo a vegetação dominante composta por gramíneas.

Foram descritos dois perfis expostos na área de lavra: (1) apresenta o contato nítido entre ao horizonte manchado plúntico (Ma) e a argila aluminosa desferruginizada (Aa) que

correspondem à base do perfil e (2) outro apresentando o contato nítido entre os horizontes superficiais ricos em matéria orgânica que se sobrepõem ao horizonte de argila aluminosa desferruginizada que correspondem ao segmento superior do perfil (Figuras 14).

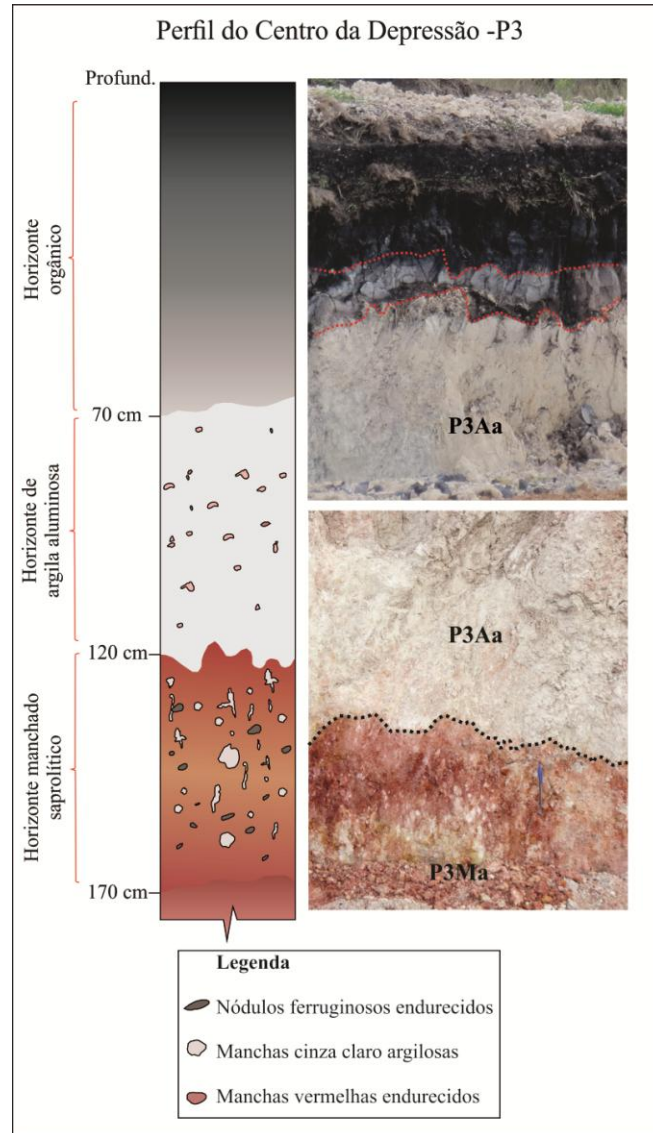


Figura 14 - Horizonte orgânico com transição da argila aluminosa desferruginizada (Aa), sobreposta a uma camada (Ma) apresentando uma rede de volumes vermelhos escuros endurecidos, vermelhos e amarelos friáveis e cinza claro sobreposta por uma camada de argila aluminosa desferruginizada.

O horizonte de argila aluminosa (Aa) (Figura 14) caracteriza-se como material argiloso maciço que rompe-se em microagregados (< 0,5 mm), muito compacto e coeso quando seco, de cor cinza claro (2,5Y 7/2) com raros volumes (cm) alongados verticalmente de cor amarela (2,5 Y 7/8) e vermelha clara (7YR 7/3) indicando desferruginização. Sobre este material mineral, deposita-se uma espessa camada de matéria orgânica decomposta de cor preta que penetra no topo do horizonte branco, em transição difusa.

O horizonte manchado (Ma) se distribui como matriz isolada na base da argila aluminosa ou como uma camada contínua (Figura 14) apresentando uma rede de volumes

vermelho escuro endurecidos (10R 2,5/2), relativamente menos abundantes do que os volumes friáveis vermelho escuro (2,5YR 4/8), vermelho amarelado a amarelo avermelhado (5YR 5/6 e 5YR 6/8) e cinza claro (10YR 7/1, este nitidamente menos abundante) que, em grande parte, estão pontuados pelas cores vermelhas e amarelas.

6.1.2 Caracterização petrográfica

Neste subcapítulo serão apresentados os resultados da microscopia óptica. Foram analisadas 13 lâminas do perfil P4, sendo 3 lâminas do horizonte friável nodular do perfil, 4 lâminas do horizonte de couraça, no qual temos a maior concentração de ferro no perfil, por fim 6 lâminas do horizonte manchado saprolítico. Também foram analisadas uma lâmina do arenito e 2 lâminas do perfil P3, uma lâmina do arenito e uma lâmina da alterita.

Cabe ressaltar que as cores vistas em afloramento diferem quando em sessão delgada. As cores descritas como cinza claro e branco nas amostras de mão, sob a luz do microscópio apresentam coloração bege-amarelada, as cores avermelhadas em amostras de mão, na lâmina são as cores vermelho escuro.

6.1.2.1 Perfil P4

As observações petrográficas dos diferentes níveis descritos no afloramento mostraram que o topo do perfil, a 10 cm de profundidade (Lâmina P4A1) apresenta zonas de coloração bege-amarelada e vermelho escuro que coexistem com volumes vermelhos mais claros, indicando, respectivamente, zonas desferruginizadas e ferruginizadas (Figura 15). A transição entre eles pode ser gradual ou abrupta. Quando é gradual, a transição do bege para o vermelho escuro ocorre através de plasmias avermelhadas.

Na figura 15 a mica se encontra na fácies herdada do saprolito argiloso, cuja estrutura laminar plásmica sem esqueleto está sendo destruída pela abertura de poros vinculada à pedogênese. Nessas micas é possível identificar o padrão linear de alteração descrito por Delvigne (1998).

O termo fácies aqui empregado tem o sentido proposto por Nahon *et al.* (1977), englobando todas as características petrográficas e texturais da rocha ou formação.

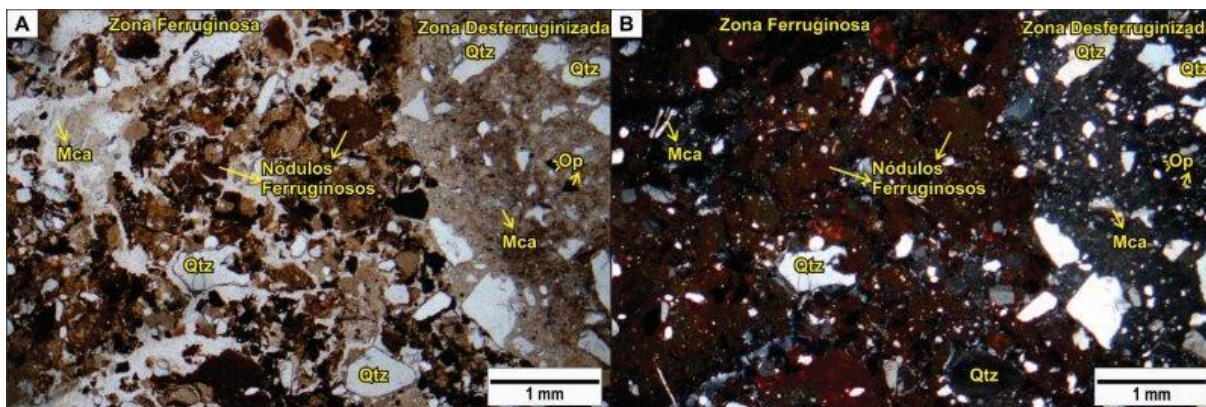


Figura 15 - A- Nicóis Paralelos (NP); B- Nicóis Cruzados (NC): Lâmina P4A1, representativa do horizonte a 10 cm, na qual é possível identificar a zona ferruginosa (cor vermelho escuro) e a zona desferruginizada (bege). São indicadas na figura a composição mineralógica onde o quartzo (Qtz) apresenta formas diferenciadas, com dimensões variando entre 0,1 mm e 0,5 mm, fraturas e bordas de dissolução; as micas (Mca) apresentam dimensões inferiores a 0,2 mm, e apresentam-se intensamente alterados. Os minerais opacos (Op), são predominantemente óxidos de ferro (hematita).

As concentrações nodulares escuras e óxidos (hematita) estão dispersas por toda a lâmina, podendo ser irregular ou arredondadas, porém predominam sob formas irregulares. A presença de nódulos ferruginosos concêntricos é comum e acredita-se que refletem condições de umidade, com regime sazonal de ciclos úmidos e secos (STOOPS, 2010).

Os padrões de desferruginização são caracterizados pela presença de argila fina bege clara podendo conter impregnações vermelhas ou interdigitação de bordas composto por plasma avermelhado e bege, podem ou não cimentar cristais de quartzo. De forma geral, as zonas desferruginizadas, de coloração bege, são zonas com matriz caulínica, enquanto as zonas ferruginosas, de tons avermelhados, consistem em uma zona com matriz ferruginosa.

A diferenciação de matrizes pode ser explicada devido ao fluxo mais intenso da água, que resulta na formação de plasma bege muito claro. Argila iluviada orientada (microlaminada), ferruginosa ou bege, preenche porosidades indicando dispersão e deposição atual.

A microestratificação (microlaminação) varia em composição, refletindo o empacotamento das partículas cinza de argila depositadas, e vermelho e amarelo dos óxidos. O maior teor de argila iluviada ocorre na matriz cinza, presente nos horizontes de couraça e manchado. Também aparecem na matriz vermelha escura, mas neste caso os poros são pequenos e a microestratificação ferruginosa, sem argila cinza, exibem tons mais claros de vermelho do que a matriz circundante e amarelo. Este tipo de cutan é resultado de sedimentação em ambiente aquoso (NAHON, 1991).

Cronologicamente, pode-se assumir que o aparecimento destas feições indica a degradação atual da couraça ferruginosa pelo aumento da quantidade e fluxo de água no

perfil, reativando os ciclos úmidos e secos. Perda de ferro devido a redução local no saprolito resulta na degradação geoquímica da matriz ferruginosa, favorecendo a dispersão de caulinita na partícula argila.

A couraça nodular é formada pelo acúmulo absoluto de ferro impulsionado pelo processo de oxidação (BEAUVAIS, 1999).

Na matriz caulinitica aparece cristal de cianita intensamente alterado (Figura 16), apresentando birrefringência com nicóis cruzados, mas sob a luz direta, não apresenta mais que uma sombra do cristal. Os cristais de minerais primários como feldspato e mica são de difícil reconhecimento porque muitos estão dispersos pela lâmina, por vezes quebrados em pequenas ripas ~ 0,10 mm e de forma geral muito alterados.

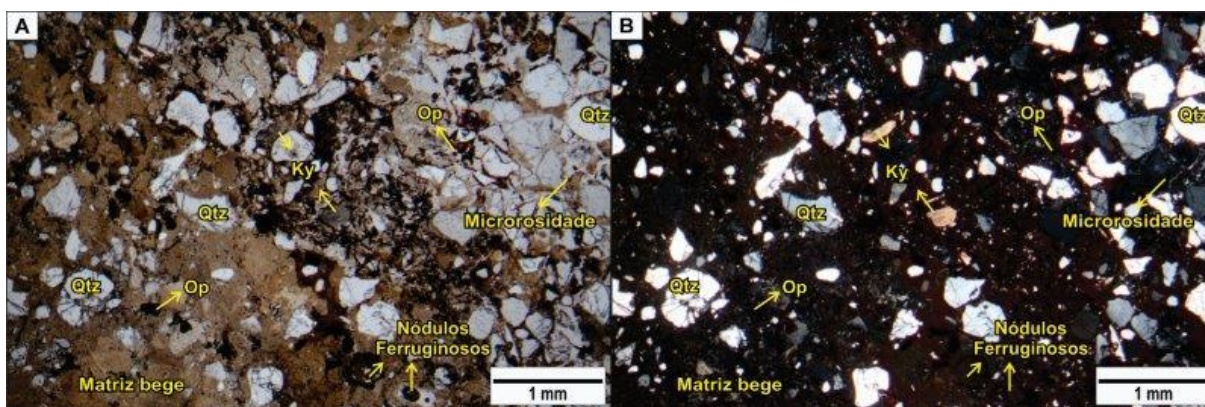


Figura 16 - A- NP; B- NC: Lâmina P4A1, representativa do horizonte a 10 cm. Porção da matriz bege, na qual se vê concentração de óxidos (Op) (cor preta); grãos de quartzo (Qtz) alterados, apresentando bordas corroídas, possivelmente indicando dissolução destes grãos, alguns apresentam intenso grau de fraturamento e fraturas preenchidas por material escuro; cianita (Ky) fortemente alterada, apresentando baixa birrefringência com nicóis cruzados.

No horizonte friável nodular, entre 0 e 300 cm, inúmeras feições de alteração (pedofeições) são identificadas, uma destas feições são os macroporos biológicos e microporos estruturais (Figura 17). A porosidade se torna caminho preferencial de passagem de fluidos, especialmente água, neste horizonte. Contudo, apesar da atuante presença de água, esse horizonte é intensamente oxidante. Na figura 17 também é possível identificar as feições do saprolito, como na orientação dos cristais de quartzo no canto superior esquerdo da lâmina.

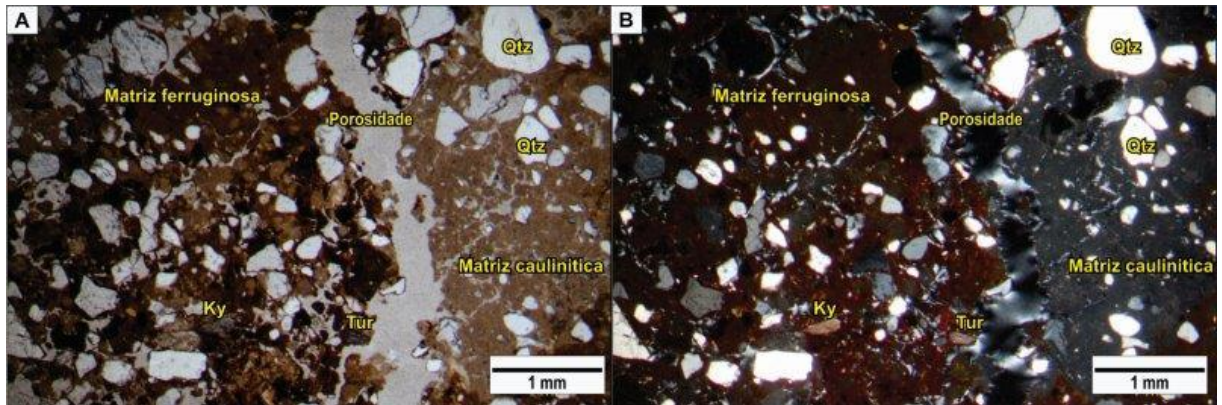


Figura 17 - A- NP; B- NC: Lâmina P4B1, representativa do horizonte a 100 cm, na qual a matriz ferruginosa e a matriz caulínica são separadas por macroporosidade. Além do quartzo, ainda é possível encontrar neste horizonte cristais primários como cianita (Ky) e turmalina (Tur).

Outra pedofeição que merece destaque é a película ferruginosa (Figura 18), que se refere a pedofeições intrusivas de óxido-redução, que são zonas onde ferro e/ou manganês tenham se acumulado como cobertura ou infiltração em um poro ou cobertura (película) em um grão ou agregado, devido a mudanças no estado de oxidação do elemento (STOOPS, 2010).

Essas feições são encontradas por todo o perfil, e devem ser consideradas, pois o tipo e localização dessas pedofeições variam de acordo com o movimento da água e ar dentro do solo, a duração da saturação de água e as condições anaeróbicas, a presença ou ausência de matéria orgânica (STOOPS, 2010).

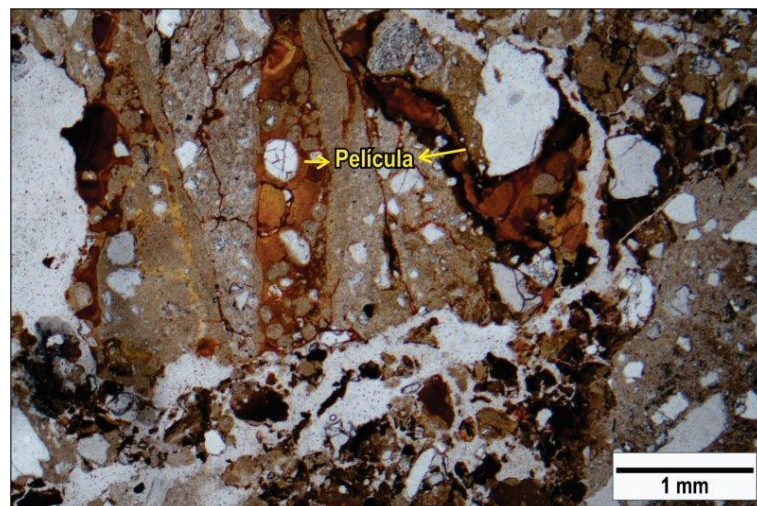


Figura 18 - Lâmina P4A1, representativa do horizonte 10 cm, onde é possível verificar a cobertura ou película ferruginosa, neste caso chamada de hipopelícula (STOOPS, 2010), devido à matriz apresentar sinais de redução pela mudança na coloração e ocorrer perda de argila.

O quartzo é o mineral primário predominante, com dimensões e formas variadas. Os grãos são arredondados, subarredondados e angulares, sendo pouco visível a presença de um padrão preferencial de orientação (Figura 19). Alguns cristais apresentam bordas corroídas,

com a presença de matriz bege e outros apresentam bordas com película ferruginosa. Destaca-se o elevado grau de fraturamento mecânico dos grãos que podem estar preenchidos com óxido de ferro.

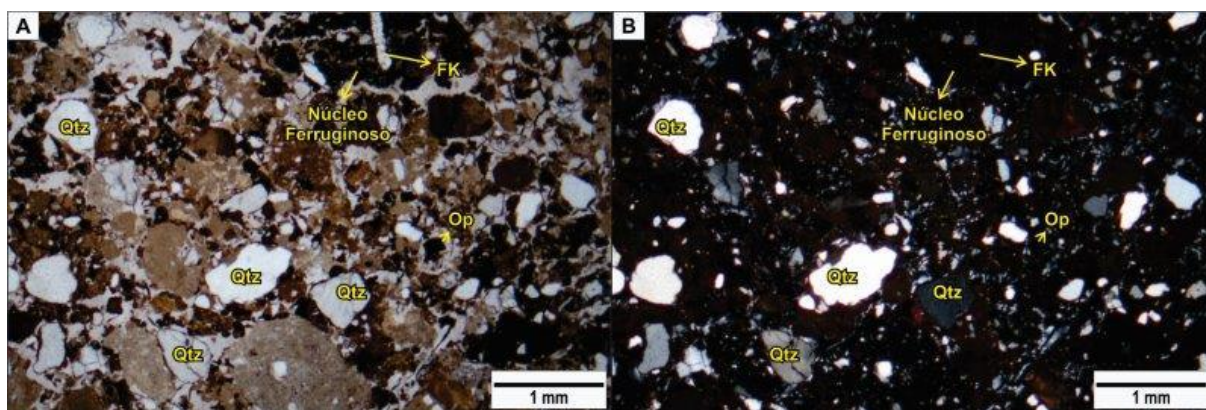


Figura 19 - A- NP; B- NC: Lâmina P4A1, representativa do horizonte a 10 cm. Concentração de óxidos (núcleo ferruginoso) apresentando diferentes aspectos, com grãos menores que 0,5 mm; cristais de quartzo (Qtz) fraturados, subarredondados, com bordas de dissolução nas quais é possível identificar acúmulos da matriz bege; feldspato (FK) intensamente alterado, com 0,6 mm, com aspecto placóide.

Ainda no horizonte friável nodular, a 100 cm de profundidade (lâminas P4B1 e P4B2), as concentrações plásmicas ferruginosas podem aparecer com textura estriada, sendo marcada pela alternância de estrias vermelho escuro, vermelho claro e vermelho-amarelado. O plasma ferruginoso, assim como a lâmina P4A1, a 10 cm de profundidade, também está organizado em nódulos que cimentam cristais de quartzo subarredondados a angulosos, e são reconhecidos pela coloração bem distinta, vermelho muito escuro a quase preto, opaco. Os cristais de quartzo possuem dimensões variadas, menores que 0,1 mm ou próximo a 0,5 mm de diâmetro.

Neste horizonte aparecem feições de concentrações ferruginosas com textura pisolítica <0,1mm (Figura 20). O termo pisolito designa uma estrutura concêntrica, geralmente arredondado, com alguns milímetros de diâmetro, composto de núcleos não texturizados envolto por córtex microlaminado; geralmente o córtex e o núcleo são endurecidos, ou pelo menos mais duros que a matriz circundante (DELVIGNE, 1998).

A figura 20 apresenta a textura pisolítica que no caso consiste no acúmulo de pequenos nódulos ferruginosos que, diferentemente dos mostrados anteriormente, apresentam cor vermelha, estes pequenos nódulos formam um aglomerado, aparentemente maciço e endurecido. Em meio à concentração ferruginosa encontram-se alguns cristais de quartzo cimentados, os quais apresentam bordas corroídas e algumas fraturas. Este aglomerado de pequenos nódulos ferruginosos chega a ter mais que 5 mm de diâmetro. Alguns dos nódulos

ferruginosos podem apresentar algumas fraturas, que se encontram preenchidas por um plasma de alteração com coloração alaranjada, que podem indicar a saída de ferro do perfil.

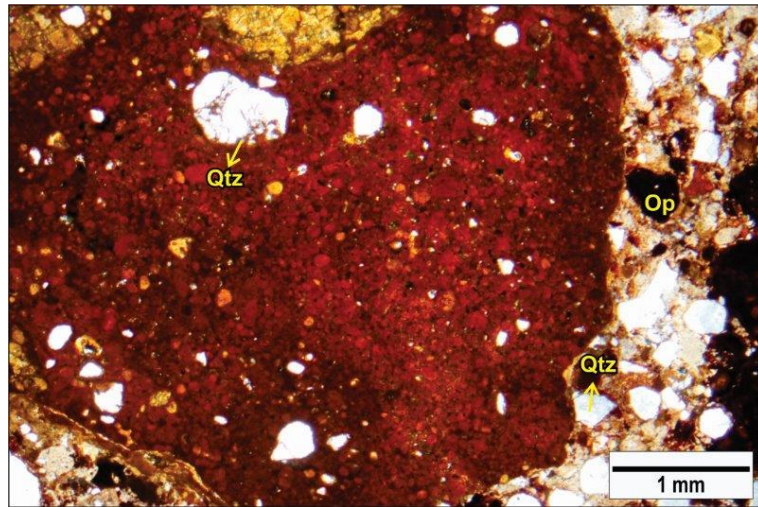


Figura 20 - Aglomerado de nódulos ferruginosos com grãos de quartzo em meio a massa ferruginosa, apresentando fraturas, em alguns locais preenchidas pelo plasma ferruginoso; óxidos de ferro (Op) predominam na porção direita, apresentando aspecto arredondado com menos de 0,2 mm.

Há a presença de mica, marcada pela alteração (linear) como descrita por Delvigne (1998). Os cristais atingem até 0,5 mm, sendo em sua maior parte pequenas ripas, já fortemente alteradas passando a uma matriz bege-amarronzada. São encontrados pequenos cristais de zircão (<0,2 mm), que são reconhecidos pela sua alta birrefringência e alto relevo, apresentando aspecto arredondado, com algumas fraturas e levemente alterados (Figura 21).

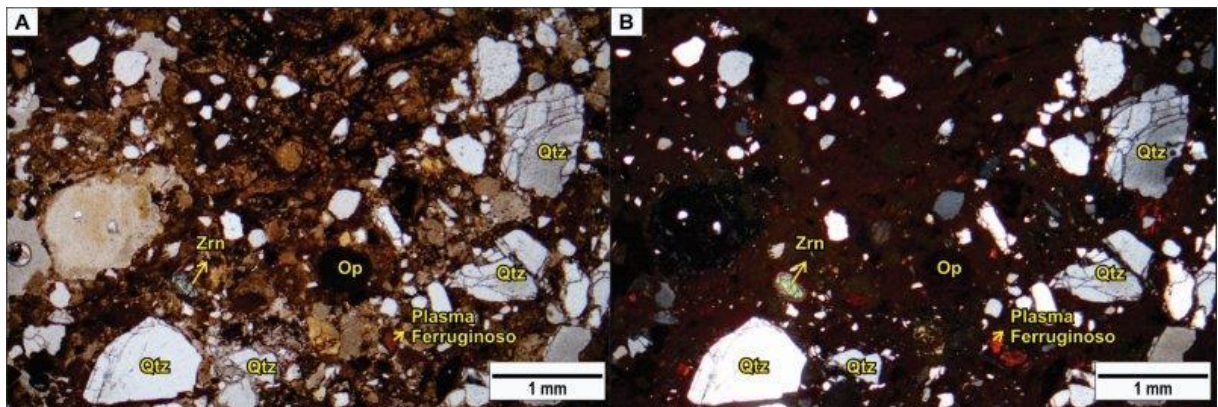


Figura 21 - A- NP; B- NC: Lâmina P4B2, representativa do horizonte a 100 cm. Presença de matriz ferruginosa com óxidos (Op) de coloração escura, com até 0,5 mm de diâmetro; quartzo (Qtz) com até 1 mm, alguns fraturados, mas todos com bordas corroídas, com acumulação de matriz ferruginosa. Presença de plasma de alteração de cor laranja vivo, com menos de 0,2 mm. Zircão (Zrn) com menos de 0,2 mm, com alta birrefringência.

O quartzo está disperso por toda a lâmina, tanto na matriz bege quanto nos nódulos ferruginosos. Alguns são arredondados e outros mais angulosos, sendo possível identificar bordas de dissolução (Figura 22). Os cristais têm dimensões variadas que vão de 0,1 mm a ~1 mm, alguns com intenso faturamento e preenchido com plasma ferruginoso. A matriz bege se

organiza em domínios microagregados, arredondados, com diâmetro inferior a 0,25 mm. A borda é impregnada por matriz vermelho pálido e o centro apresenta inúmeras pontuações vermelhas.

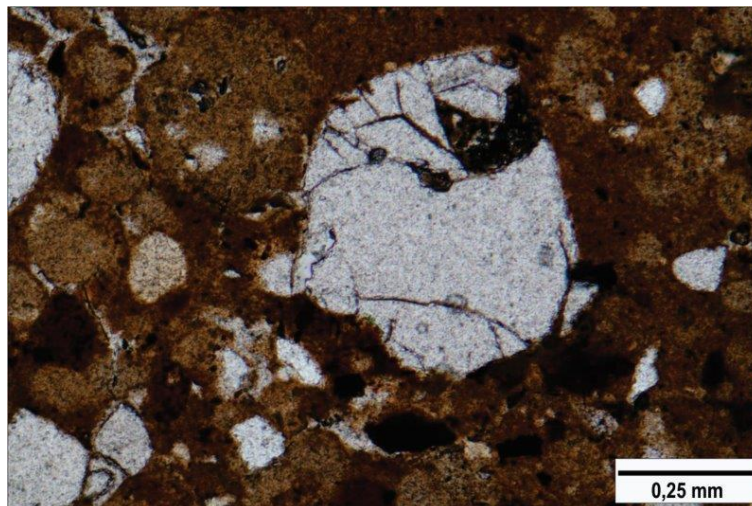


Figura 22 - Detalhe do grão de quartzo fraturado, com bordas corroídas com presença da matriz ferruginosa preenchendo algumas fraturas; presença de óxidos de coloração escura.

No horizonte de couraça, que se estende de 300 a 440 cm, foram confeccionadas quatro lâminas e é onde se concentra o maior teor de ferro.

Na lâmina representativa de 300 cm de profundidade, encontra-se o topo da couraça ferruginosa, onde segundo as análises químicas começa a ocorrer o aumento do teor de ferro. As fácies correspondem a alterorelíquias identificadas pela textura, estrutura e mineralogia (DELVIGNE, 1998) envolvidas em crosta ferruginosa. São estruturas herdadas do arenito intensamente ferruginizado associadas com fácies manchada de bege, vermelho claro e vermelho escuro (Figura 23).

São zonas plásmicas compactas com concentrações hematíticas que se destacam nas camadas mais argilosas do saprólito arenítico. No campo, as camadas argilosas são organizadas em laminações centimétricas vermelha, amarela e cinza claro, coesas, e dominam nos horizontes inferiores à couraça (abaixo de 440 cm). Representam cerca de 90 % do saprolito da formação sedimentar.

As numerosas microfissuras estão completamente preenchidas por plasma vermelho escuro hematítico. As fraturas isolam novas estruturas formadas granulares e subangulares. Grãos de quartzo de diferentes tamanhos (0,06 a 0,7 mm) e formas (arredondado a angular) compõem o esqueleto que está orientado e cimentado pelo ferro. O sentido da perda de ferro parece ser centrífugo porque algumas estruturas estão parcialmente ou quase totalmente desferruginizadas (cor vermelho vivo e bege), mas estão imersas em matriz ferruginosa vermelha escura (Figura 23).

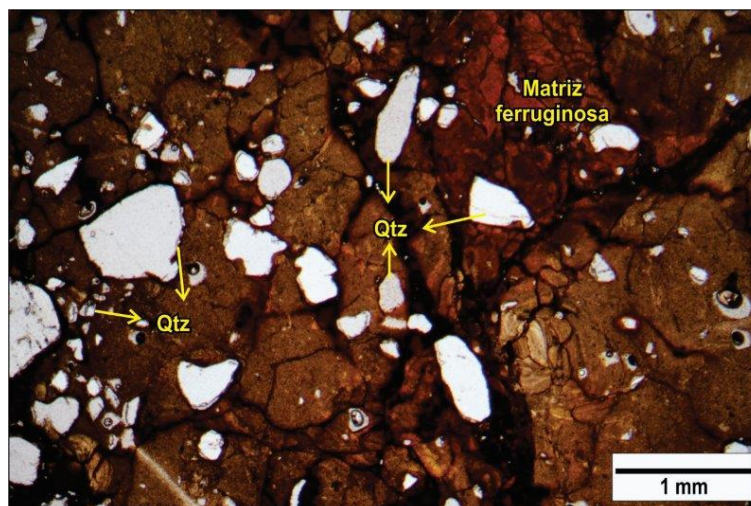


Figura 23 - Lâmina (P4D1) representativa do horizonte a 300 cm, os grãos de quartzo apresentam dimensões variadas ($<0,1\text{mm}$ e $<0,7\text{ mm}$) e bordas corroídas com acúmulo da matriz ferruginosa nestas reentrâncias. Na matriz ferruginosa, estão presentes feições de iluviação de argila, marcada pela alternância entre tons de vermelho mais escuro e bege.

O quartzo por vezes apresenta distribuição aleatória, porém em outras o ordenamento (alinhamento) parece ter sido feito pela ferruginização nos poros que deslocou e orientou o esqueleto. Apenas os grãos muito pequenos ($< 0,06\text{ mm}$) estão no interior do plasma denso. Alguns cristais estão fraturados, e a grande maioria apresenta as bordas marcadas pela presença de óxidos de ferro mais ou menos concentrados.

Este nível (300 cm), que representa o que está imediatamente acima da couraça mais endurecida, apresenta zonas mais e menos endurecidas e que são caracterizadas pela matriz intensamente ferruginizada, opaca, que transiciona para a zona vermelha clara que por sua vez apresenta transição difusa com a zona bege (Figura 24).

O plasma ferruginoso vermelho escuro é endurecido e possui fábrica interna obscurecida pela opacidade do material. Argila e ferro cimentam texturas pisolíticas e fragmentos poligonais plásmicos, ambos com núcleos plásmicos homogêneos. O plasma vermelho vivo contém concentrações plásmicas com extinções contínuas (estrias orientadas) ao redor dos microagregados e nos poros. São iluviações cutânicas marcadas pela intercalação de plasma amarelo vivo e vermelho, individualizados em pequenos domínios.

O plasma bege é caulinitico, com textura similar aos plasmas vermelhos. No seu interior estão presentes inúmeras pontuações ferruginosas vermelhas escuras, opacas, algumas vezes concentradas em núcleos e preenchendo fissuras. Nota-se a presença de volumes mais claros, quase brancos, dispersos na matriz bege. O contato com o plasma vermelho escuro é difuso, com cores amarelas e vermelhas vivas (Figura 24).

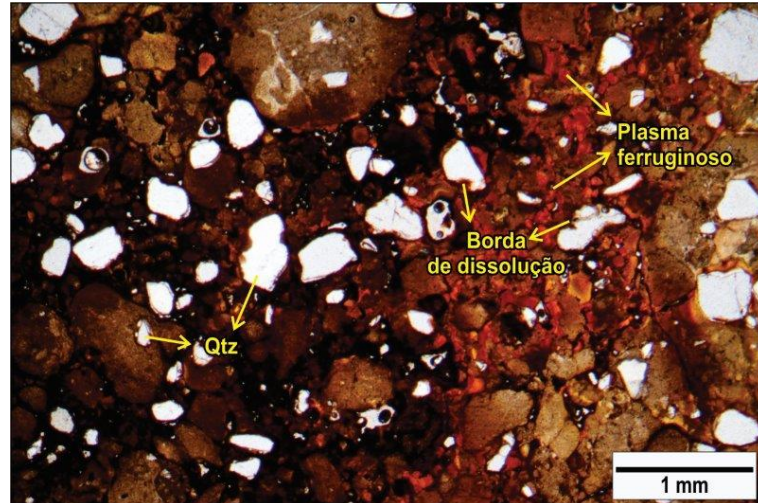


Figura 24 - Imagem ilustrativa da porção ferruginosa, com quartzo apresentando bordas de dissolução com incrustações ferruginosas nas partes alteradas; o plasma ferruginoso com uma cor vermelha viva aparece nos interstícios da matriz ferruginosa, principalmente na porção mais clara, o que indica uma fuga do ferro deste horizonte.

Outra propriedade da matriz bege são as zonas de plasma mais claro composto por argila iluviada microlaminada (Figura 25). A formação destas concentrações plásmicas estriadas com extinção contínua contribui para orientar os grãos de quartzo. Estas mesmas feições são também reconhecidas nas zonas com plasma vermelho e amarelo vivos, porém não são reconhecidas na matriz vermelha escura. Destaca-se a abertura de microfissuras que acompanham os volumes mais claros. Presença de restos isolados e difusos de plasma vermelho.

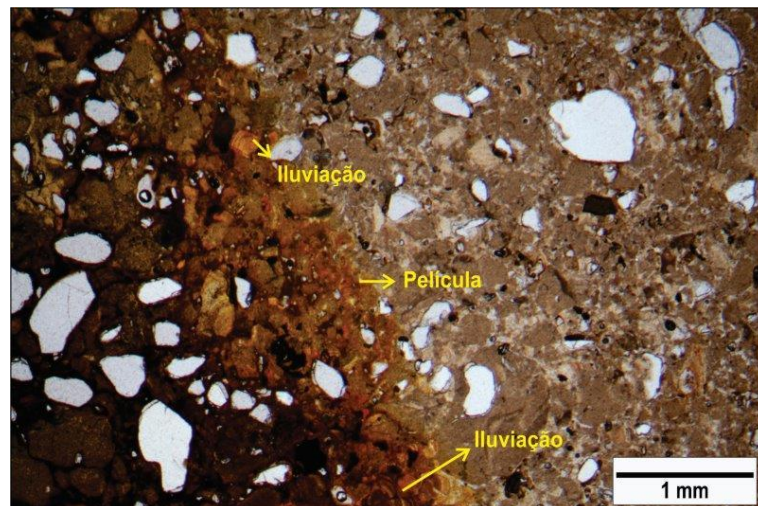


Figura 25 - Lâmina do horizonte a 300 cm, porção onde é visível a matriz bege com zonas de transição marcada pela cor amarela, onde há um acúmulo de óxidos e também onde é visível feições de iluviação de argila, caracterizada pelo estriamento distinguido pela alternância entre a cor bege e vermelho escuro. Hipopelícula - pedofeição que mostra sinais de redução devido a mudança na coloração e perda de argila.

A fácies herdada do saprolito arenítico que está ferruginizada (Figura 26) difere dos fragmentos encontrados nos níveis sobrejacentes (0-10 e 100 cm) que estão quase totalmente desferruginizados (Figura 27).

Alterorelíquias do arenito estão envoltas por matriz de solo (pedoplasma). A sequência de alteração e pedogênese são reconhecidas por que os horizontes do topo preservam fragmentos das fácies argilosas compactas do saprolito características dos níveis de couraça e manchado, microagregados plásmicos e grande quantidade de nódulos ferruginosos (Figura 28).

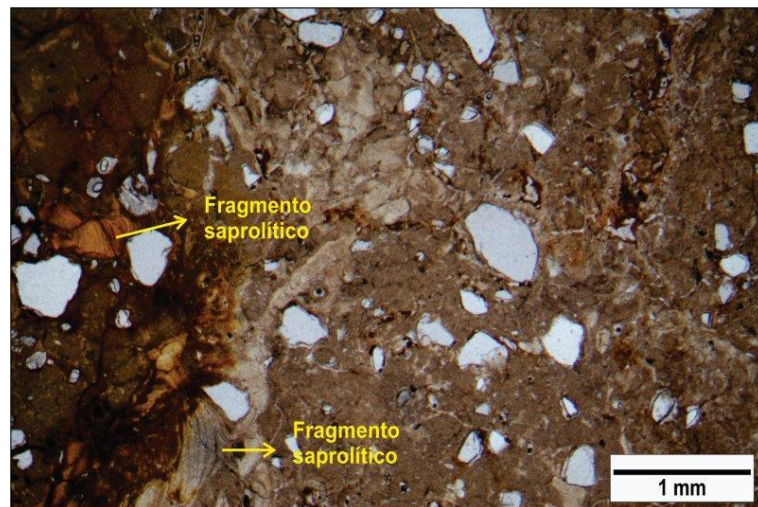


Figura 26 - Lâmina representativa do nível a 300 cm indicando fácies herdada do saprolito.

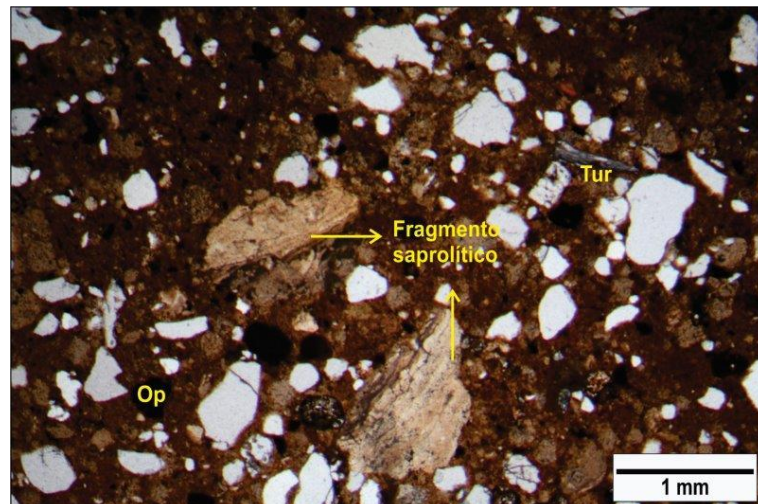


Figura 27 - Fragmentos do arenito no topo do perfil a 100 cm de profundidade.

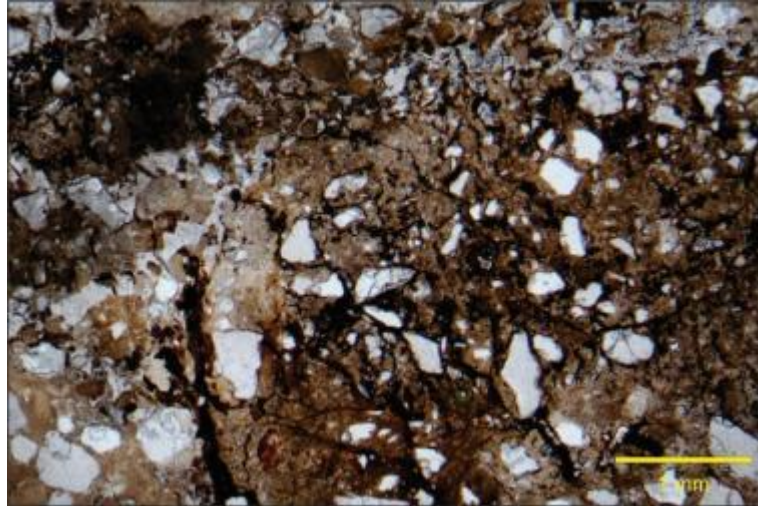


Figura 28 - Estrutura herdada do arenito, no topo do perfil (0-10 cm) contendo microfissuras preenchidas por óxido de ferro.

Ainda no plasma bege, a iluviação de argila e a abertura de macroporo resultam na disjunção entre plasma e esqueleto (a distribuição relativa transiciona de porfírica para enáulica) (Figura 29). Forma-se uma organização de empilhamento do esqueleto composto por alguns grãos de quartzo, sobretudo por nódulos ferruginosos soltos. Ao redor dos grãos de quartzo encontra-se um capeamento ferruginoso ou capeamento de argila bege muito clara.

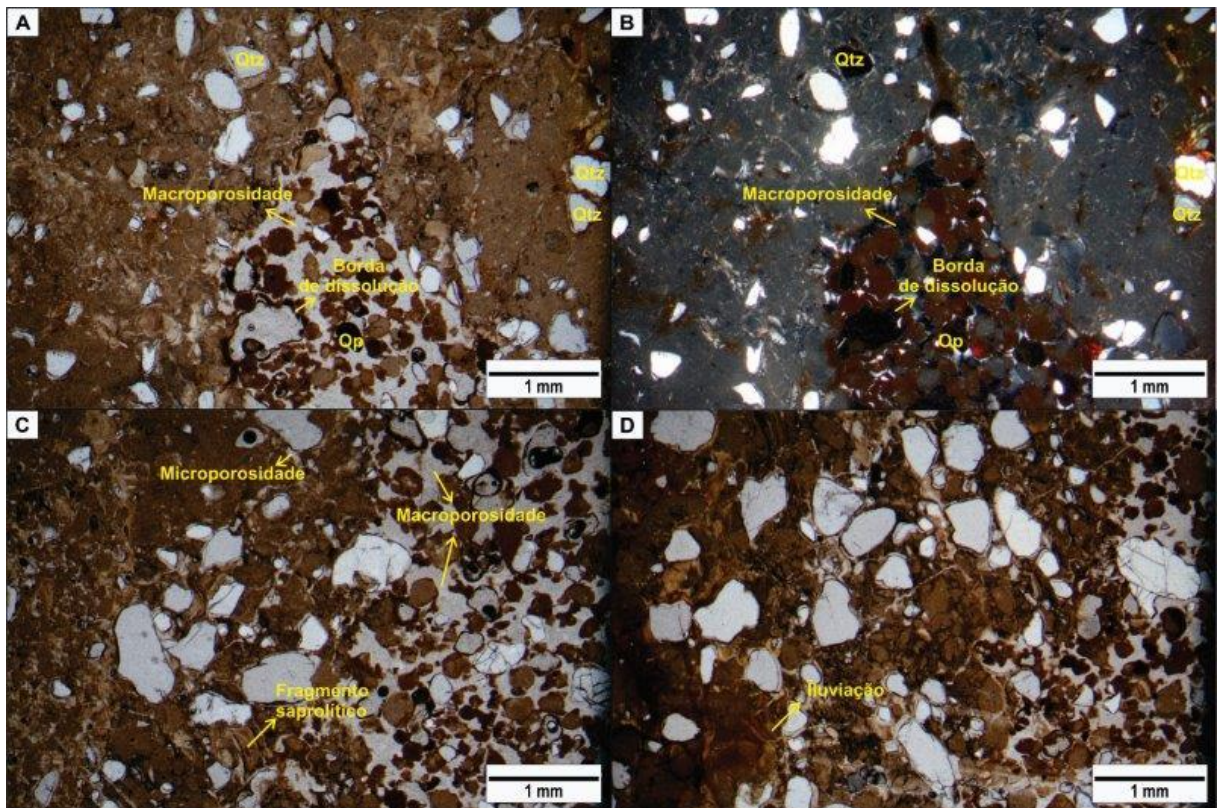


Figura 29 – Lâmina representativa do horizonte friável nodular a 300 cm de profundidade. A- NP; B- NC: Transformação de distribuição porfírica para enáulica pela disjunção entre plasma e esqueleto. C e D Empilhamento do esqueleto composto por alguns grãos de quartzo, mas sobretudo por nódulos ferruginosos, caracterizando pisólitos soltos.

Ainda no horizonte de couraça, entre 440 e 490 cm de profundidade, encontra-se um material mais endurecido que no nível superior a 300 cm. Neste nível do perfil, em campo, são encontrados os núcleos de couraça ferruginosa, a partir do qual foram confeccionadas três lâminas (P4E7-A, B e C), e se constitui de uma camada extremamente dura composta por níveis ferruginosos, nódulos vermelhos muito escuros a cinza muito escuro (quase preto) e vermelhos (0,5 cm a 5,0 cm de diâmetro) e na base, abaixo de 490 cm, zonas manchadas vermelha, amarela e cinza, muito argilosas, maciças que podem se romper em pequenas (< 1 mm) microestruturas friáveis que são mais nítidas na matriz cinza.

A couraça é caracterizada por duas estruturas. Ela pode apresentar matriz maciça idêntica à descrita anteriormente (300 cm de prof.) que cimenta grãos de quartzo mal selecionados com distribuição aleatória (Figura 30 A e B) ou apresentar bandas horizontais compostas exclusivamente por plasma ferruginoso denso, alternando lentes vermelho muito escuro e vermelho vivo e bege, maciça, associada com textura pisolítica (Figura 30 C e D). Neste caso as bandas ferruginosas são intercaladas com camadas de plasma bege, contendo esqueleto ou não. Fissuras multidirecionais são preenchidas por plasma ferruginoso vermelho escuro ou vermelho vivo.

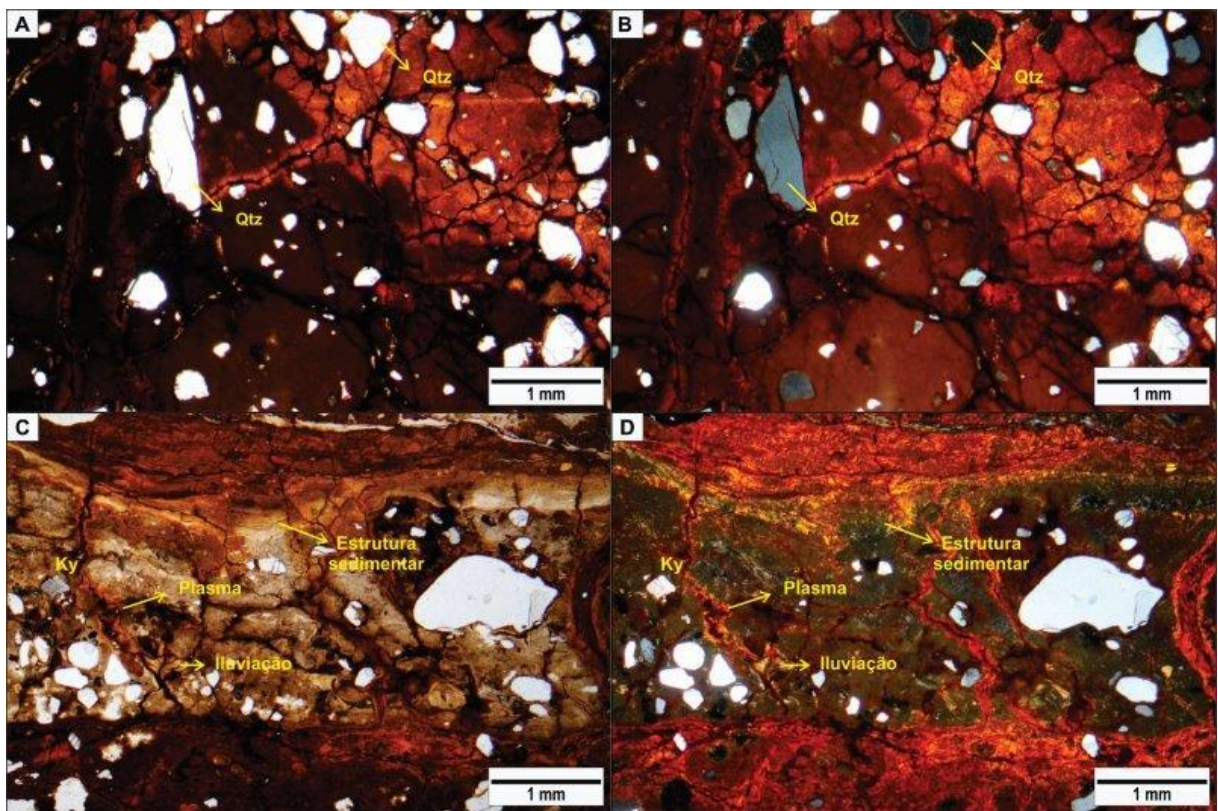


Figura 30 - Lâminas P4E7, representativas do nível couraçado a 440-490 cm; A- NP; B- NC: Couraça ferruginosa com estrutura maciça com grãos de quartzo (Qtz) cimentados; C- NP; D- NC: couraça ferruginosa com bandas intercaladas com camadas de plasma bege, presença de uma estrutura sedimentar remanescente e um grão de cianita (Ky) como nos níveis superiores.

A estrutura bandada acompanha a estrutura paralela do sedimento. As lentes argilosas do arenito foram impregnadas por óxido de ferro formando os níveis endurecidos que caracterizam a couraça. Formam estruturas complexas, alteroreliquiais, com fissuras horizontais e perpendiculares completamente preenchidas com óxidos de ferro. Há evidências de que os grãos de quartzo foram deslocados e orientados pela ferruginização.

A banda bege é desferruginizada do centro para a periferia. Este processo pode estar associado com o aumento da translocação de argilas. Nesta matriz, aparecem zonas de argilas iluviadas preenchendo pequenos poros, estriadas alternando estrias cinza, vermelha e amarela viva, com extinção contínua sob nicóis cruzados. Ainda no interior da matriz bege, domínios com argilas iluviadas são mais claras (bege claro), são estriadas e alternam cores cinza claro e bege. Existem também domínios cinza claros descoloridos que não correspondem a iluviação (Figura 31).

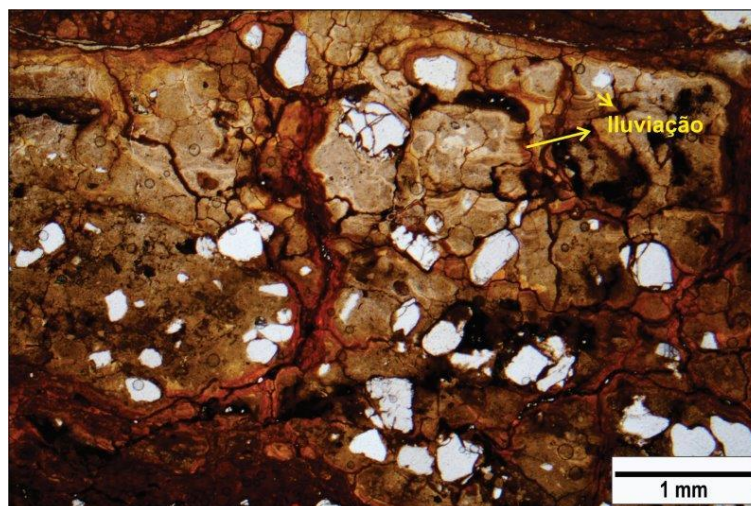


Figura 31 - Fissuras no horizonte ferruginoso nas quais há acúmulo de plasma ferruginoso de cor vermelho escuro, concentração de óxidos; quartzo fraturado, com bordas arredondadas com dimensão menor que 0,5 mm.

Localmente (cantos esquerdo inferior e superior da lâmina) observa-se a individualização de uma matriz microagregada muito pequena desenvolvida que no centro das estruturas maciças, indicando nova organização plásmica. A gênese dos pisolitos ocorre de acordo com dois processos: (1) por acumulação absoluta de ferro a partir da couraça e formada na matriz argilosa após a perda de ferro devido aos ciclos úmidos e secos. Segundo Nahon (1991), este processo leva à fragmentação da matriz em microagregados, frequentes em solos e saprolitos de regiões tropicais.

O plasma ferruginoso vermelho escuro pode também estar distribuído em domínios contínuos isolando o plasma bege maciço ou com textura pisolítica. Grãos de quartzo mal selecionados podem estar fortemente corroídos, dissolvidos e substituídos por plasma ferruginoso. Esta forma de alteração do quartzo indica dissolução lenta no interior de couraça,

com o ferro preenchendo as cavidades abertas (DELVIGNE, 1998). A exemplo do observado nos níveis anteriores, nesta profundidade também é reconhecida estrutura de alteroplasmação (Figura 32).

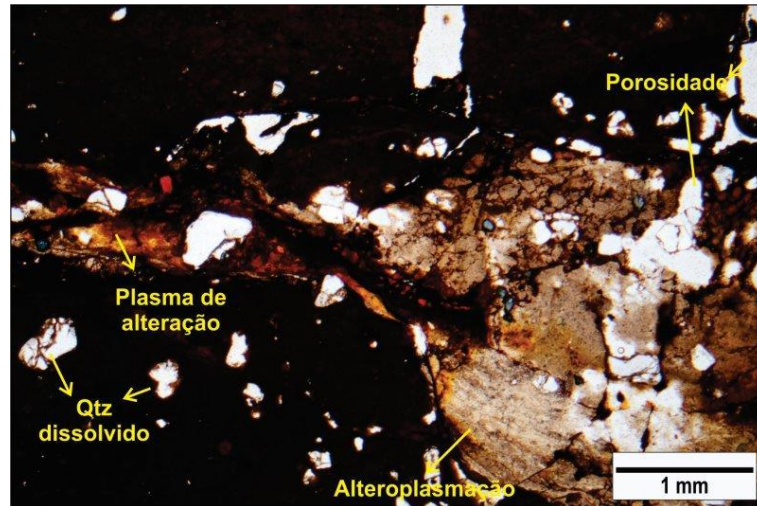


Figura 32 - Feições de alteroplasmação na matriz bege, marcada pela presença de "manchas" escuras, presença de macroporosidades, concentração ferruginosa em contato com plasma de alteração de cor amarela, cristais de quartzo (Qtz) com bordas corroídas.

Na profundidade de 490 cm, a base da couraça transiciona para o nível argiloso manchado, que aqui é chamado de horizonte manchado e saprolito. Foram confeccionadas quatro lâminas (P4E1 - 2 lâminas; P4E2; P4E5) para a descrição petrológica de detalhe deste horizonte.

No horizonte manchado e saprolito, o contato entre as matrizes vermelha escura para vermelho e para o bege é abrupta, indicando apenas desferruginização, sem mudanças na composição argilosa ou do esqueleto (Figura 33 A e B). O plasma bege é caulinítico e desferruginizado, fortemente fissurado quando maciço ou exibe textura pisolítica. Conserva relíquias de nódulos arredondados herdados da matriz ferruginosa vermelha escura. Argila iluviada estriada (ferriargilans) é estruturalmente distinta do restante da matriz.

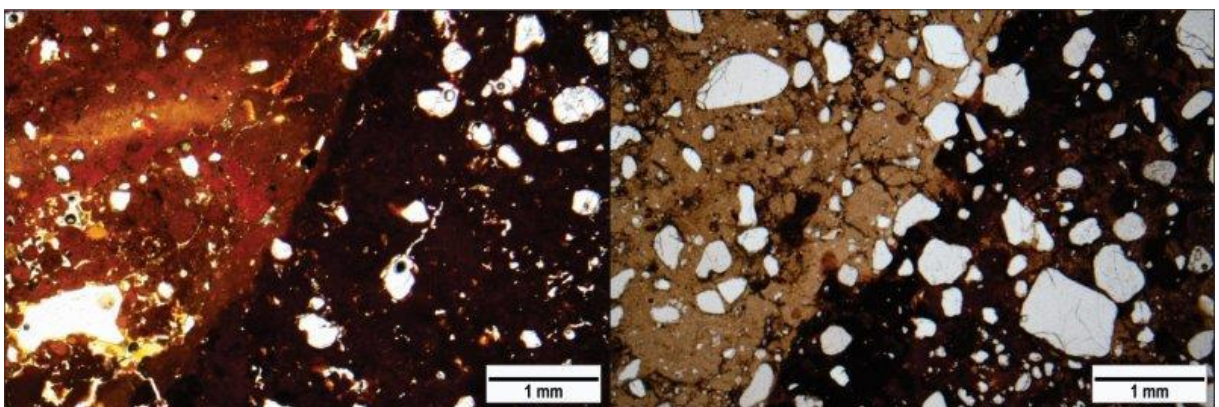


Figura 33 - Lâminas representativas do horizonte manchado apresentando o contato abrupto entre as matrizes vermelha escura para vermelho e para o bege; a matriz bege, caulinítica, apresenta forte fissuramento.

A perda do ferro ressalta as microestruturas pisolíticas que tornam-se bege, recobrem bordas ou formam pontes com o esqueleto quartzoso (Figuras 34 A e B). Estruturas do saprolito arenítico (alteroplasma) são reconhecidas, porém elas parecem ter sido bastante alteradas pelo desenvolvimento da pedoplasmação que formou as estruturas microagregadas (textura pisolítica) (Figura 34 C e D).

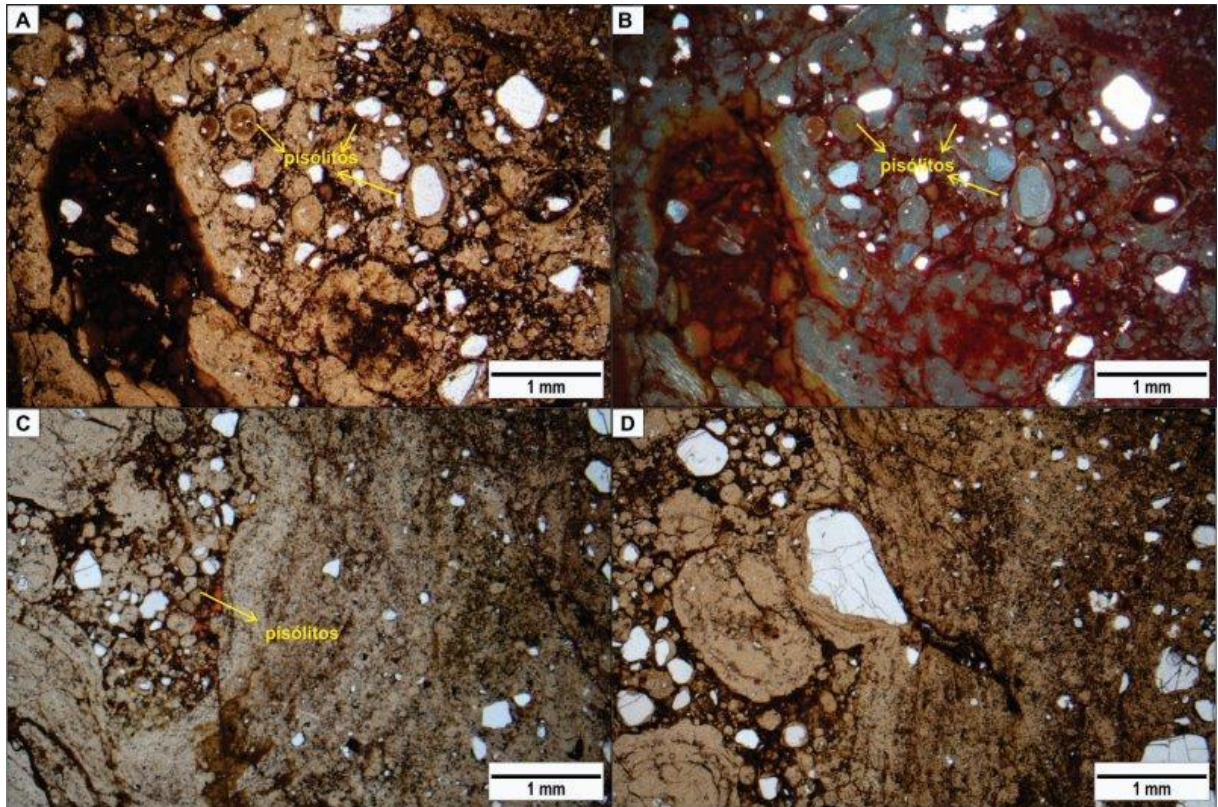


Figura 34 - A- NP; B- NC, C e D. Lâminas P4E1 -1 e 2, representativas do horizonte manchado, na qual se observa a presença de núcleos quartzosos nos pisólitos; matriz bege apresenta fissuras preenchidas por material ferruginoso de cor vermelho escuro.

No seu desenvolvimento, elas reorganizaram o plasma caulínítico fino e o esqueleto quartzoso, tais estruturas estão presentes tanto nas zonas marcadas pela forte presença da cor vermelho escuro como nas zonas cinza que caracterizam o horizonte manchado abaixo de 490 cm.

A figura 35 mostra que estas estruturas representam relíquias de nódulos ferruginosos (altero e pedorelíquias). Apresentam bordas externas com sucessivas lâminas concêntricas. Delvigne (1998) denomina essa feição de cortificação centrípeta.

O primeiro estágio de formação da cortificação é interno, em relação à borda da alterorelíquia, e progride de forma centrípeta, substituindo progressivamente os minerais alterados e poros residuais, perdendo-se as texturas herdadas da rocha (DELVIGNE, 1998). De maneira geral, os minerais da rocha são completamente alterados, restando apenas os mais

resistentes. No horizonte manchado e saprolito podemos identificar a presença de cristais primários como quartzo.

Mesmo apresentando a cortificação centrípeta bem definida, essas feições ainda são chamadas de pisólitos. Neste nível, como mostra a figura abaixo, a matriz bege cimenta grãos de quartzo em seu centro e orientam os grãos na borda (Figura 35 B e D).

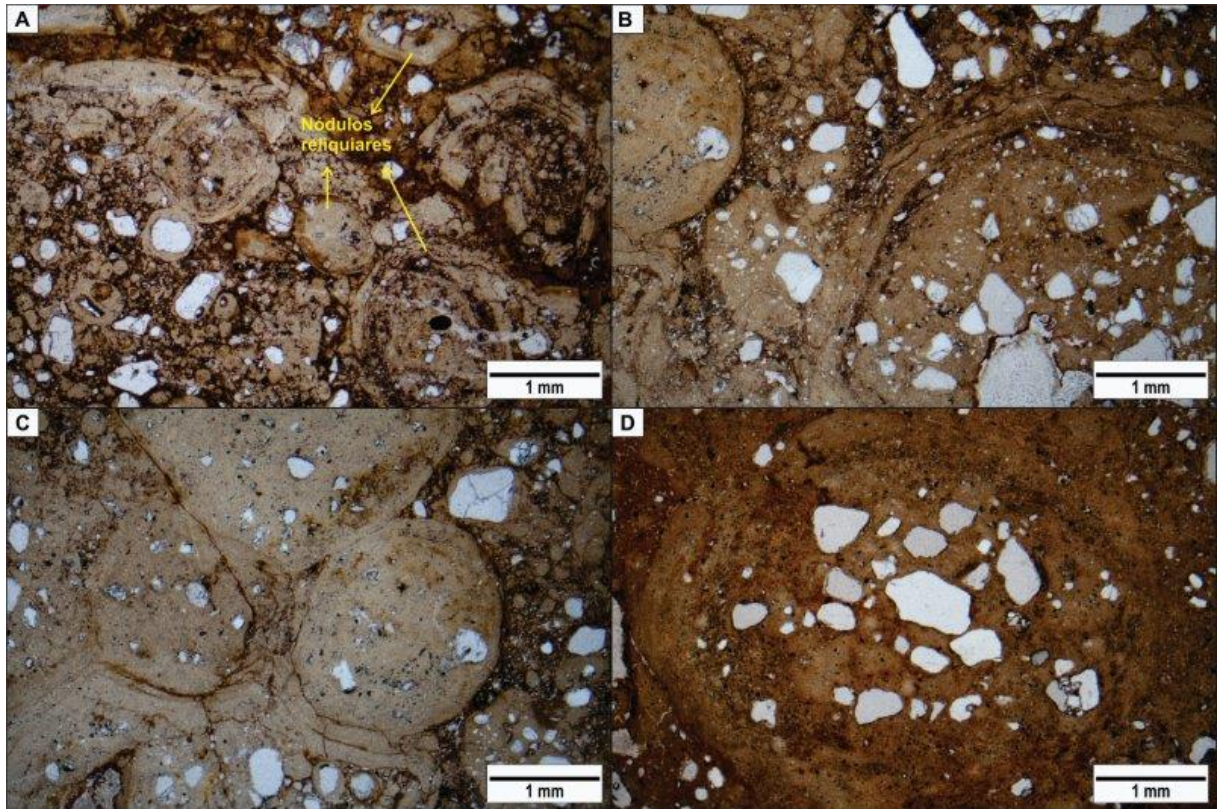


Figura 35 - A; B; C e D: Presença de relíquias de nódulos ferruginosos, caracterizados pelo aspecto arredondado marcado pela cor vermelha escura; nota-se a presença de grãos de quartzo no interior da maior parte dos nódulos, tais grãos possuem aspecto arredondado, com bordas dissolvidas.

Na matriz vermelha escura e na matriz descolorida é possível reconhecer que as concentrações ferruginosas arredondadas estavam ligadas, possivelmente se tratando de coalescência de nódulos que formam núcleos ferruginosos (Figura 36).

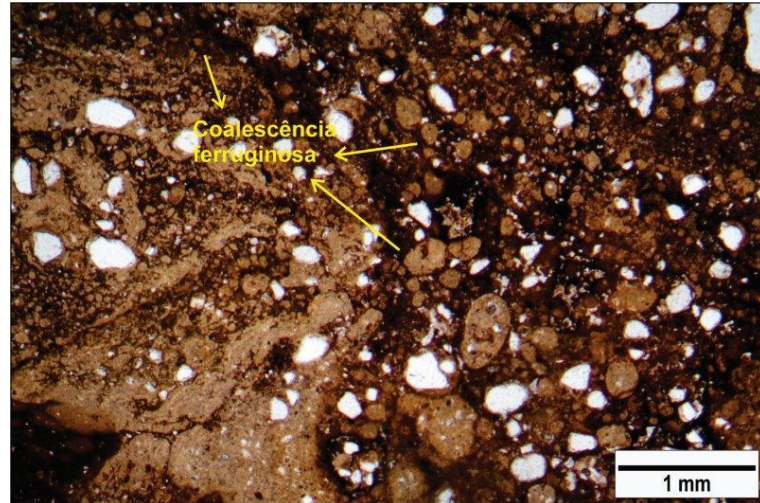


Figura 36 - Concentração de nódulos ferruginosos, aspecto arredondado, inferiores a 0,5 mm.

Os grãos de quartzo são parcialmente envolvidos pelo plasma bege e em alguns casos perfazem o núcleo de pisólitos. Os microporos são preenchidos por argila iluviada estriada e estão presentes na matriz ferruginosa vermelha escura, estriado de amarelo e vermelho vivo (Figura 37 A e B). Esses vazios podem ter se formado pela dissolução da couraça que são posteriormente preenchidos por argila iluviada caracterizando um preenchimento secundário.

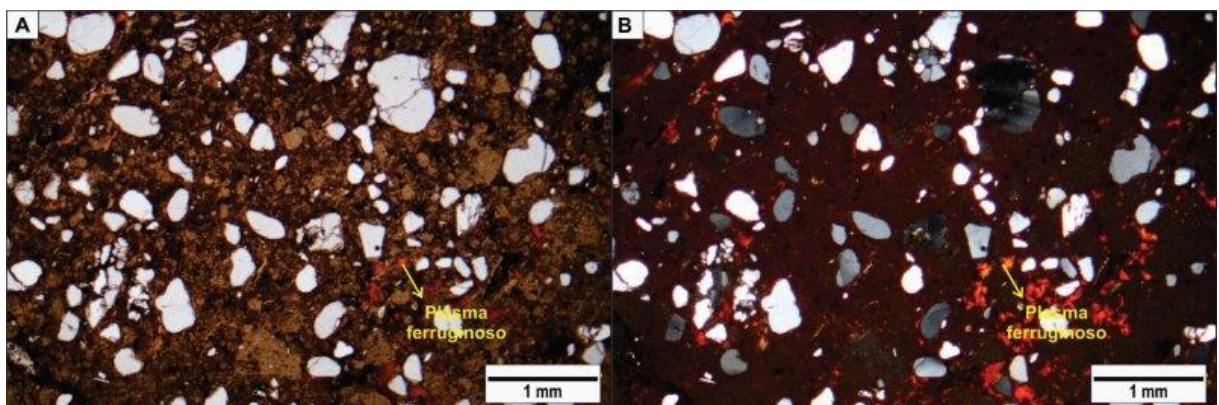


Figura 37 - A- NP; B- NC: Poros preenchidos por plasma de alteração ferruginoso de cor laranja forte, indicando destruição da zona vermelha escura, ferruginosa; quartzo apresentando dimensão até 1 mm, fraturados e com bordas arredondadas com marca de dissolução.

A zona manchada apresenta duas matrizes com limite nítido: zona ferruginosa, vermelha escura e zona desferruginizada, bege (Figura 38). Os vazios deixados pela dissolução da couraça são ocupados por argila iluviada caracterizando como preenchimento secundário, esse preenchimento apresenta-se como plasma amarelo vivo está na parede dos poros. Os óxidos aparecem dispersos pela lâmina, preferencialmente em meio a matriz vermelho escuro, apresentando aspecto arredondado, e diâmetro inferior a 0,5 mm.

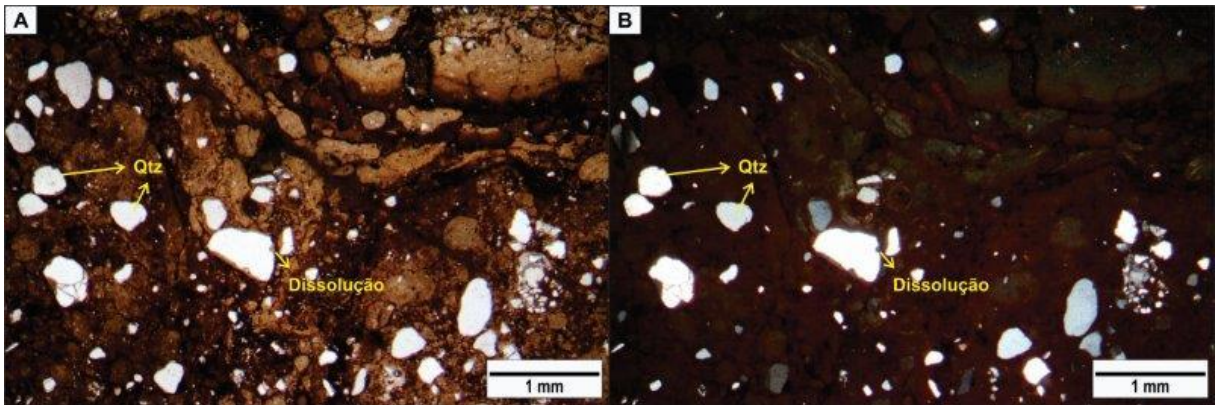


Figura 38 - A- NP; B- NC: plasma ferruginoso vermelho escuro pode também estar distribuído em domínios contínuos isolando o plasma bege maciço ou pisolítico. Dissolução de quartzo e substituição com plasma ferruginoso.

O zircão (Figura 39), assim como nas lâminas anteriores aparece disperso pela lâmina, podendo apresentar dimensões de até 0,3 mm, sendo reconhecido principalmente devido sua birrefringência e relevo característicos.

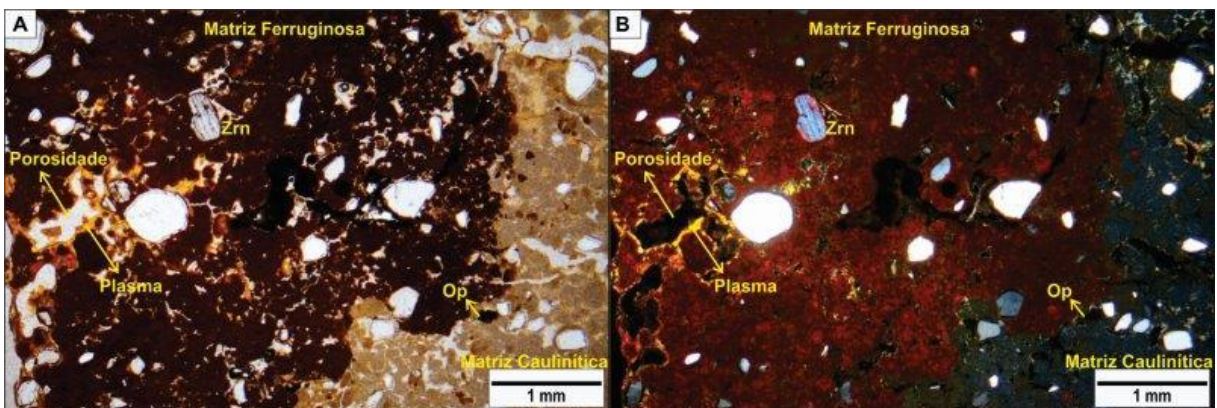


Figura 39 - A- NP; B- NC: Lâmina (P4E6) representativa do contato entre os volumes brancos e volumes vermelhos do horizonte manchado, na qual é possível identificar um cristal de zircão (Zrn) com 0,3 mm de diâmetro, fraturado, com borda dissolvida e aspecto arredondado; quartzo com até 0,5 mm, com aspecto arredondado, alguns apresentam bordas de dissolução. Ambas as matrizes apresentam fissuras e porosidade, sendo destacado na matriz escura a presença de plasma de alteração na borda da porosidade.

Na lâmina (P4E1) representativa do horizonte manchado abaixo da couraça ferruginosa a 490 cm, não é possível verificar a transição entre as duas matrizes, sendo apenas notada a maior concentração de um vermelho escuro. São encontradas porções que parecem intensamente ferruginizadas devido sua coloração vermelha mais escura e porções que parecem ser tomada por um plasma de alteração que apresenta cor alaranjada vibrante (Figura 40).

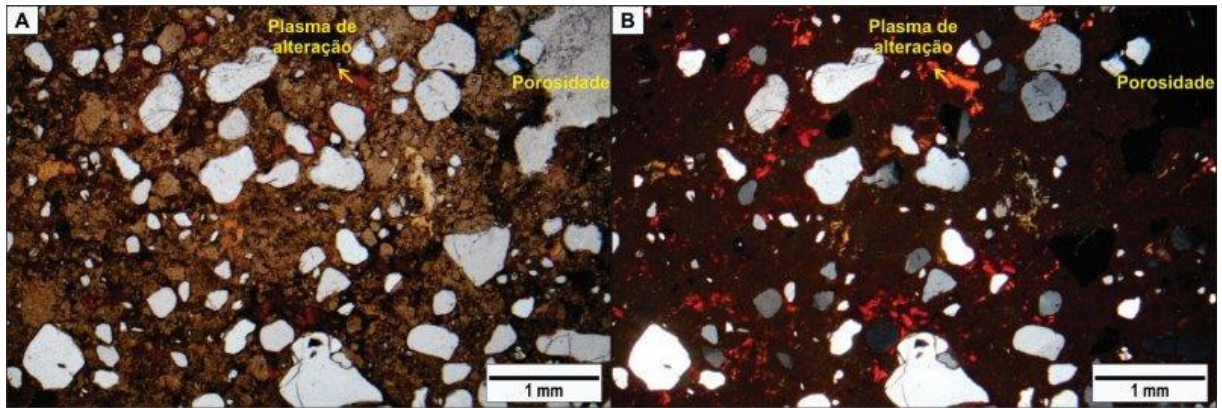


Figura 40 - A- NP; B- NC: Lâmina representativa do horizonte manchado na qual não é possível identificar transição entre as matrizes vermelha e bege. As porosidades estão preenchidas com plasma de alteração ferruginoso, indicando perda de Fe no horizonte, os grãos de quartzo apresentam aspecto arredondado, com até 1 mm de diâmetro, em geral apresentam bordas marcadas por dissolução, na qual se tem um acúmulo de matriz ferruginosa.

O horizonte manchado consiste na presença de manchas de cor branca em meio à matriz vermelha que é predominante por todo o arenito. Para caracterizar mineralogicamente essas manchas, foi confeccionada uma lâmina individualizando a mancha, sendo esta representativa dos volumes brancos em meio ao arenito. Na porção manchada, são encontrados os mesmos padrões de alteração mineral para os cristais de quartzo, feldspato, micas e zircão, além da existência de duas matrizes, uma bege escura e outra bege clara (Figura 41).

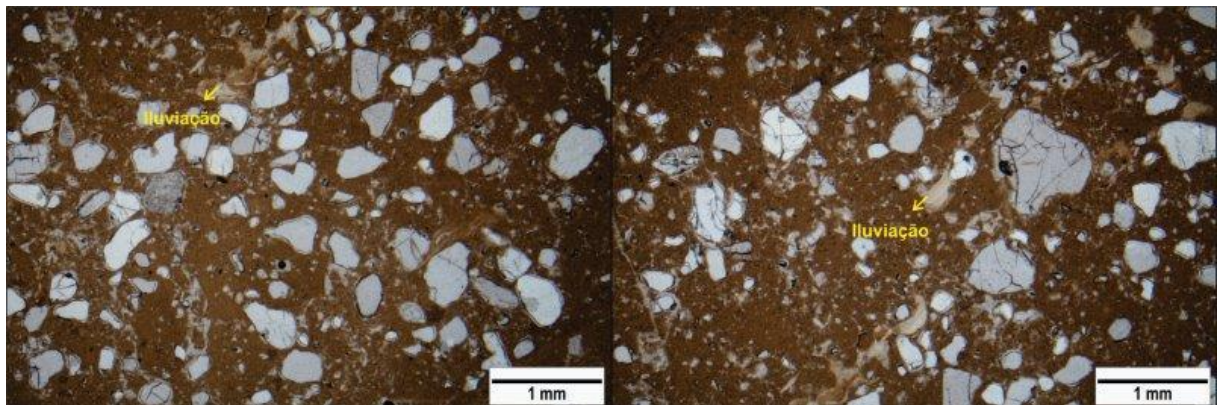


Figura 41 - Lâmina (P4E4) representativa dos volumes brancos, onde há predominância da matriz bege, similar a encontrada nas porções mais ferruginosas, grãos de quartzo apresentam aspecto similar ao das outras lâminas, com formas arredondadas, fraturas e bordas de dissolução. É possível identificar ainda feições de iluviação de argila, embora apareçam de forma sutil.

Ainda para ilustrar o horizonte manchado, foi feita uma lâmina (P4E6) para representar o contato entre a matriz vermelha e a matriz branca, predominante nas manchas (Figura 39). Nela são encontradas zonas que podem ser caminhos preferenciais de circulação de soluções; estes apresentam uma coloração alaranjada, e parecem ser intensamente

fraturadas, nestas porções os cristais apresentam-se intensamente alterados e fragmentados (Figura 42).

Ciclos continuados úmidos e secos causados pelo frequente soerguimento e abaixamento do nível freático sob condições climáticas sazonalmente quentes e úmidas, geram a abertura de canais e fissuras, que favorecem a circulação de água nos solos, gerando veios brancos dentro da matriz vermelha (HONG, *et al.*, 2010).

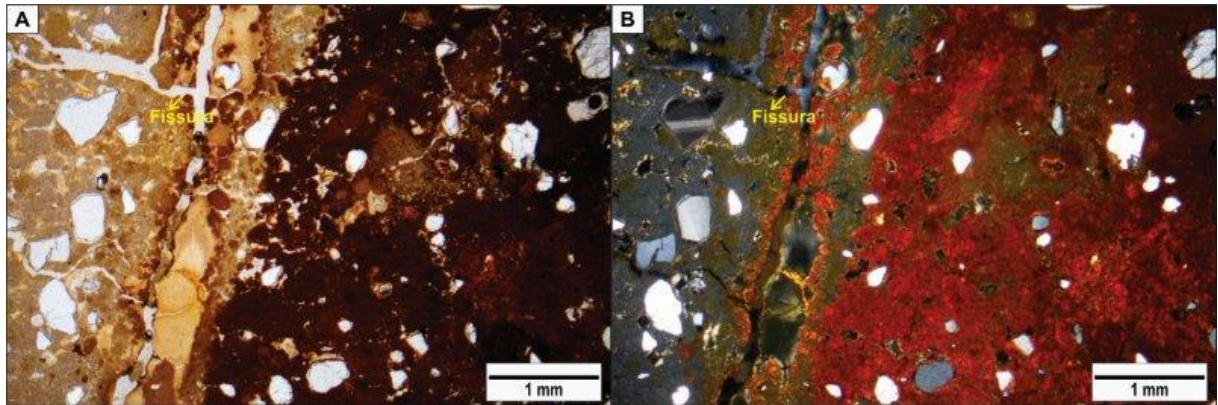


Figura 42 - A- NP; B- NC: Lâmina (P4E6) representativa do contato entre volumes brancos e volumes vermelhos, apresentando fraturas onde provavelmente se torna um caminho preferencial de circulação de fluídos, presença de óxidos, quartzo com aspecto similar ao encontrado na matriz vermelha.

Como o quartzo é o mineral primário predominante em todo o perfil, nas figuras abaixo é feita uma comparação entre a morfologia dos cristais ao longo dos três horizontes individualizados e descritos até agora.

Pode ser observado que a presença de quartzo não é restrita apenas à porção ferruginosa ou à porção desferruginizada, em geral este mineral encontra-se disperso por toda a extensão do perfil e apresentam morfologia parecida.

De maneira geral há duas feições predominantes deste mineral, alguns apresentam aspecto arredondado e outros já apresentam aspeto mais anguloso, mas é possível identificar bordas de dissolução em sua maioria (Figura 43 e Figura 44).

Em alguns casos, como é possível ver na figura 44 H, o quartzo parece estar mais quebrado e fragmentado do que nos outros níveis, mas a presença de quartzo quebrado é uma constante em todos os horizontes, sendo comum também a presença de bordas corroídas, que indicam a forte atuação da água no perfil.

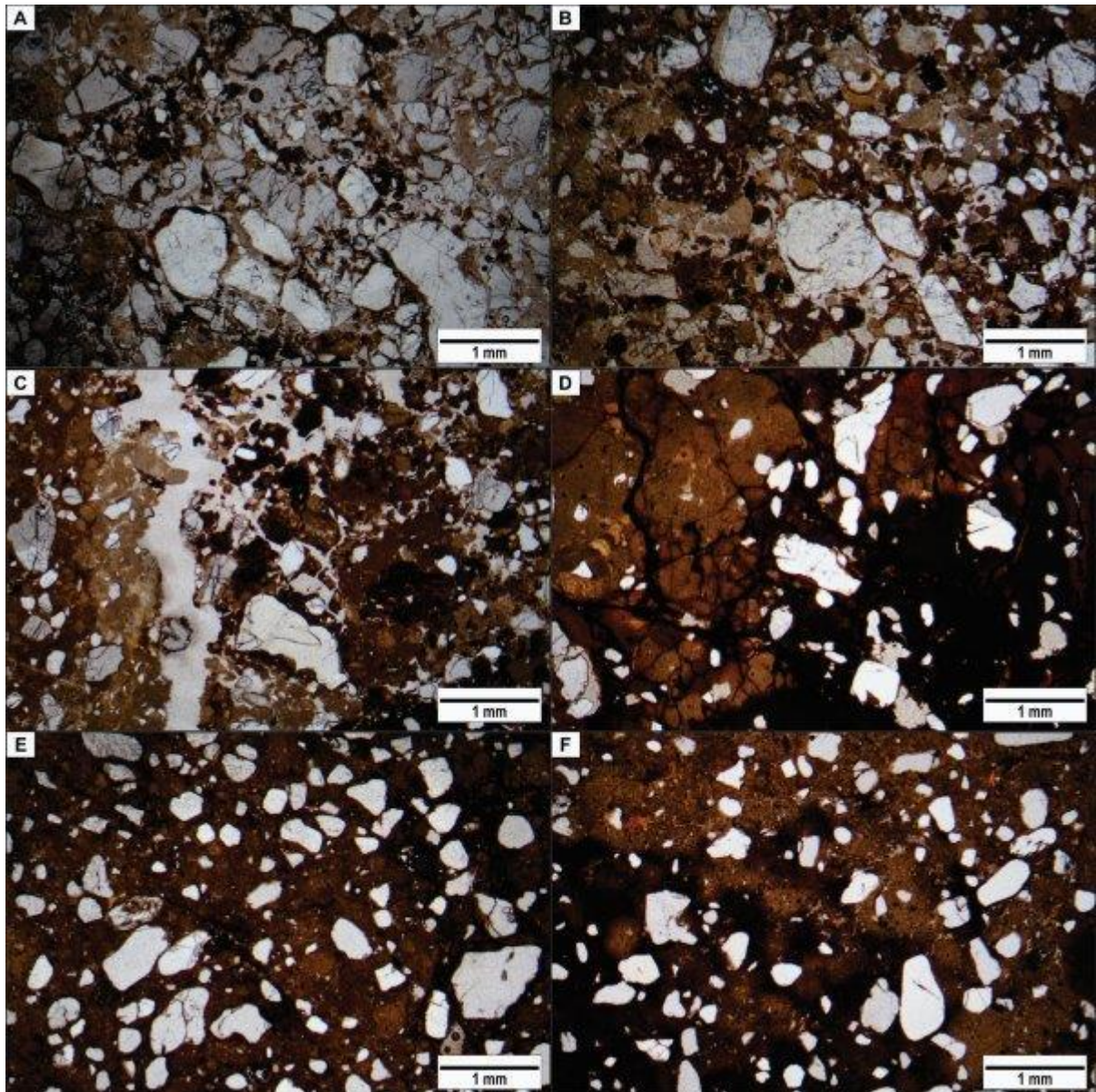


Figura 43 - Morfologia do quartzo ao longo do perfil. A - Lâmina P4A1 - representativa do horizonte a 10 cm; B - Lâmina P4B1 e C - Lâmina P4B2 - representativas do horizonte a 100 cm; D - Lâmina P4D1 - representativa do horizonte a 300 cm; E - Lâmina P4E1, F - Lâmina P4E1(2), representativas do horizonte manchado a 490 cm.

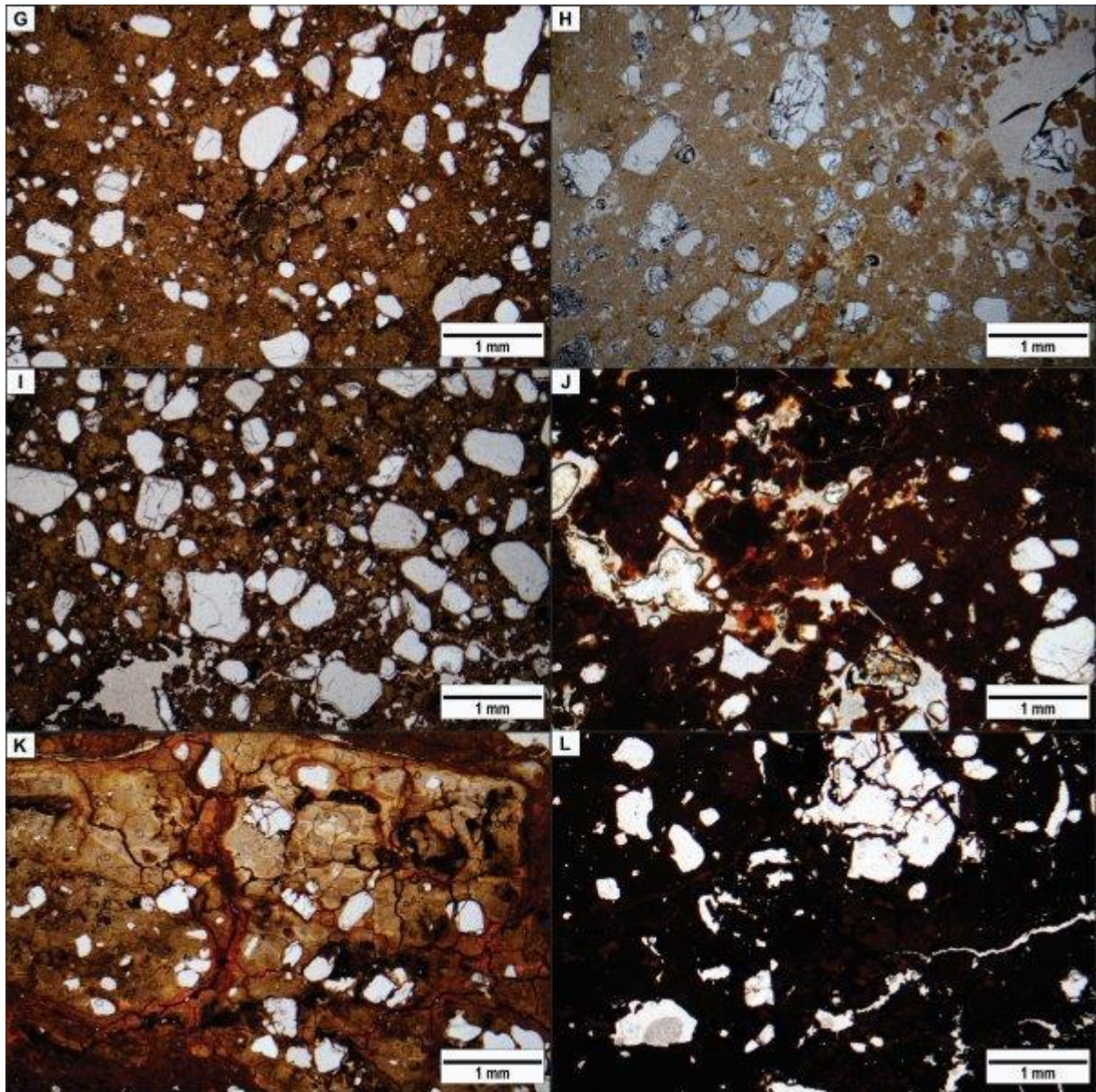


Figura 44 - Morfologia do quartzo ao longo do perfil. G - Lâmina P4E2; H - Lâmina P4E4 - representativa dos volumes brancos no horizonte manchado; I - Lâmina P4E5; J - Lâmina P4E6, representativas do horizonte manchado abaixo de 490 cm; K - Lâmina P4E7-A; L - Lâmina P4E7-C, representativas do nível de couraça a 440-490 cm.

6.1.2.2 Perfil P3

No perfil do centro da depressão (P3) foram confeccionadas duas lâminas, representativas da argila aluminosa e plintita. E lâminas da alterita e do arenito que foram coletadas em um afloramento próximo também foram interpretadas. Com a análise petrográfica destas quatro amostras foi possível identificar semelhanças entre os minerais primários e estruturas encontrados no centro da depressão (P3) e o perfil da BR-050 (P4).

Assim como nas lâminas do perfil P4, no arenito foram identificadas duas feições distintas: (1) uma zona composta por grão de quartzo com cimento argilo-ferruginoso e (2) outra zona composta por grãos de quartzo com cimento argiloso menos denso e de cor amarela clara. A concentração ferruginosa (Figura 45), assim como nas lâminas vistas acima, é marcada pela presença da cor vermelha escura e pela presença de nódulos.

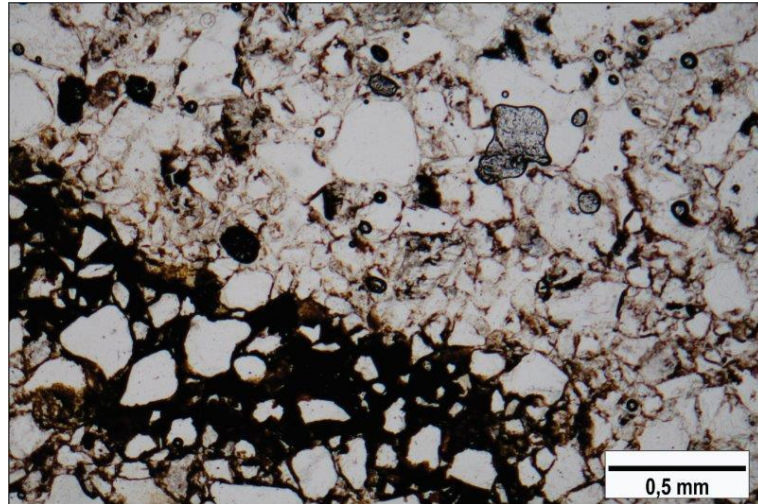


Figura 45 - Concentração ferruginosa de cor vermelha escura, contendo quartzo de dimensões variadas e aspecto arredondado. Tanto na porção mais clara da lâmina, como na porção com maior concentração ferruginosa, o quartzo apresenta bordas dissolvidas.

Em geral, o arenito apresenta grãos de quartzo de tamanho variando entre 0,01 mm até pouco mais que 1 mm (Figura 46), apresentando, de forma geral, formato subarredondado a subanguloso, com as bordas alteradas, marcadas por concentração da matriz ferruginosa de coloração avermelhada, similares ao dos núcleos ferruginosos. Os grãos de quartzo com bordas alteradas indicam um ambiente de alta solubilização, onde o mineral pode ser desestabilizado e assim diluído.

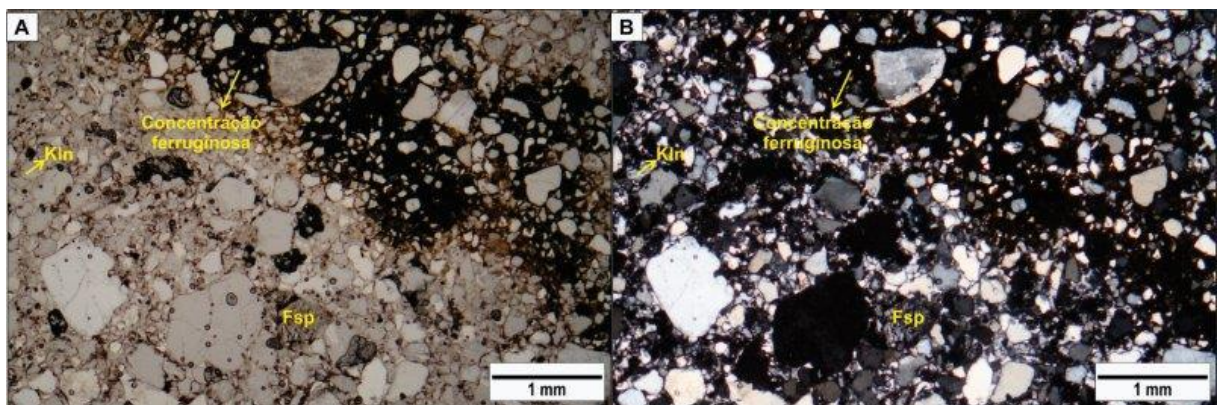


Figura 46 - A- NP; B- NC: Quartzo (Qtz) com fomas subarredondadas, em geral pouco quebrados, dimensões que variam de 0,01 mm a até pouco mais de 1 mm, bordas marcadas pela concentração de matriz ferruginosa. Na porção com concentração de matriz ferruginosa é possível verificar que o quartzo aparece com menores dimensões do que na matriz bege. Feldspato (Fsp) alterado, e caulinita (Kln) cristalina.

Além do quartzo, são encontrados minerais primários como a turmalina e feldspato. A turmalina (Figura 47) apresenta formato prismático, com cerca de 0,3 mm de alongamento, em geral encontra-se corroída e circundada por cristais de quartzo e matriz caulínica (bege claro).

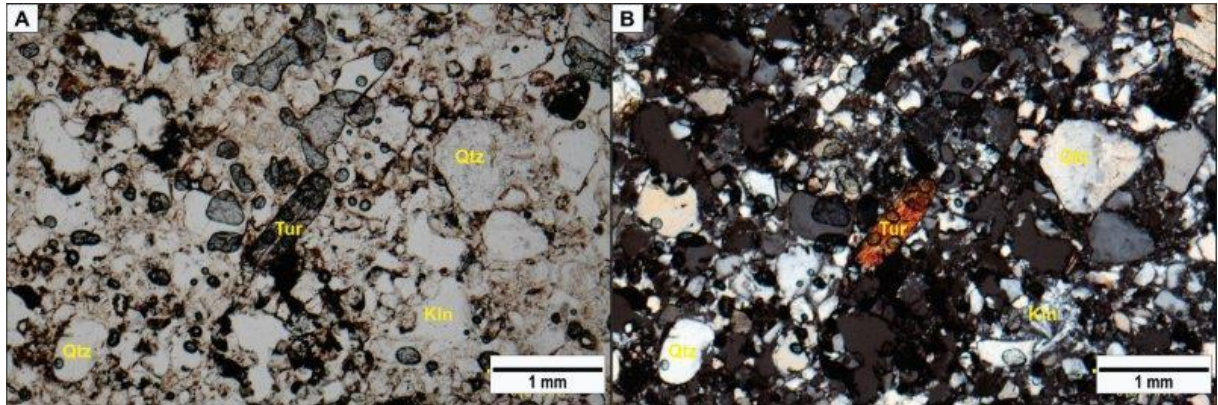


Figura 47 - A- NP; B- NC: Turmalina (Tur) apresentando cerca de 0,3 mm de tamanho no eixo mais alongado, circundado por grãos de quartzo (Qtz) de dimensões variadas e matriz caulínica (Kln).

Os cristais de feldspato (Figura 48), muito susceptível à alteração química, são considerados como as prováveis fontes para a formação da caulinita, argilomineral secundário dominante nos horizontes subjacentes da mesma forma que, de acordo com as análises químicas mineralógicas, também predomina no arenito. Na lâmina é possível identificar estruturas de dissolução e formação de argila sobre os cristais de feldspato (Figura 48). A caulinita na lâmina consiste na matriz bege clara, que está presente nos interstícios dos grãos primários e domina em algumas porções da lâmina.

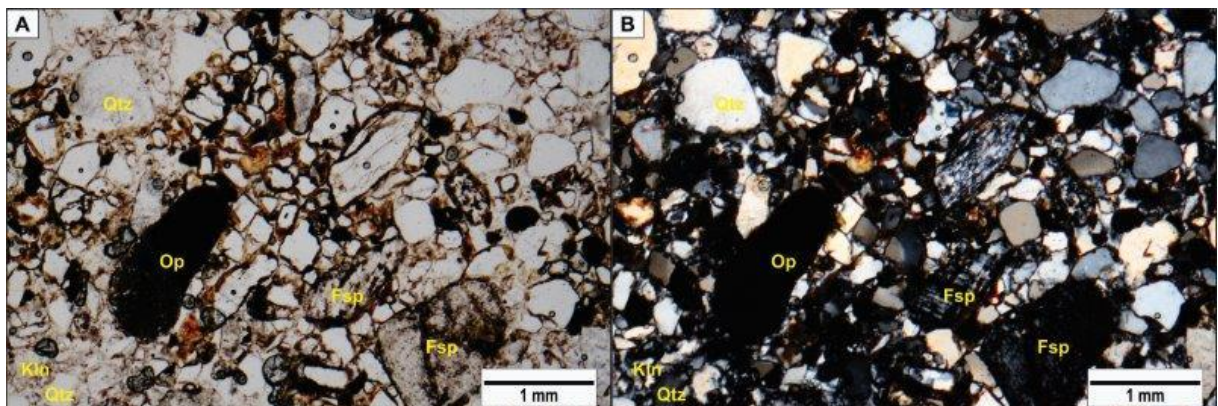


Figura 48 - A- NP; B- NC: cristais de feldspato (Fsp) alterados, apresentando ainda resquícios da geminação de microclínio sob nicóis cruzados.

Na alterita foram identificadas feições similares às encontradas no perfil P4, sobretudo a presença predominante de uma matriz bege clara entre os minerais primários como quartzo, cianita e turmalina (Figura 49). Assim como descrito e exemplificado anteriormente, são identificadas feições corrosivas nas bordas dos minerais.

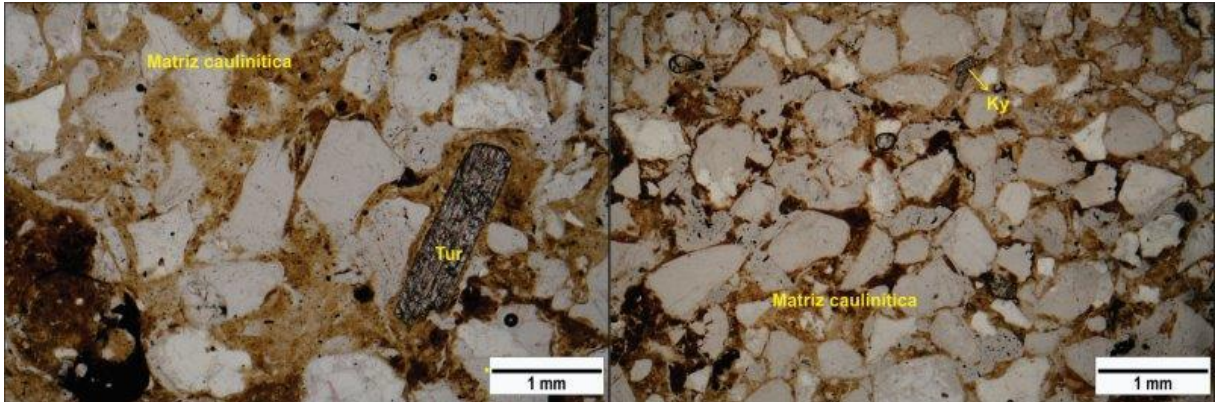


Figura 49 - Grãos de quartzo (Qtz) com dimensões variadas de até 0,5 mm, em matriz caulínica de cor bege clara, turmalina (Tur) alterada com aspecto prismático e pouco mais que 0,5 mm; cianita (Ky) com menos de 0,3 mm, quebrada.

A amostra P3Ma corresponde ao horizonte manchado comum nos perfis lateríticos. São formados por zonas que exibem concentrações caulínicas e hematíticas, lito e/ou pedoreliquiais. A graduação do material de cores mais fortes para tons mais claros indica remobilização e desferruginização em ambiente óxido-redutor controlado pelo nível freático.

A amostra P3Ma possui menor teor de quartzo, quando comparada ao arenito e a alterita, contudo, os grãos de quartzo encontrados apresentam formato irregular, sendo marcantes as reentrâncias de dissolução, bem como o intenso fraturamento dos cristais. Assim como visto anteriormente, estão presentes duas matrizes, uma bege clara, essencialmente caulínica, e uma matriz vermelha escura, essencialmente ferruginosa (Figura 50).

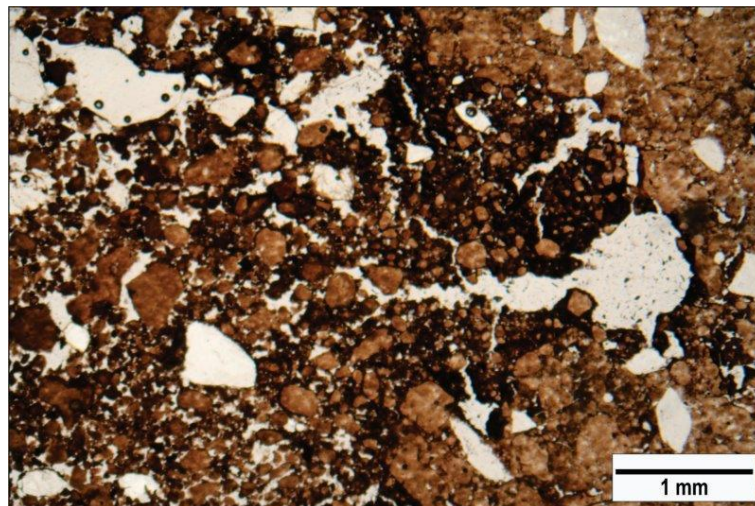


Figura 50 - Alternância entre as matrizes bege clara e vermelha escura, presença de cristais de quartzo com menos de 0,5 mm, onde é possível identificar pequenos microagregados, com bordas marcadas por concentrações ferruginosas, lembrando as feições encontradas no horizonte manchado e saprolito do perfil da BR-050.

Entre os minerais primários presentes estão quartzo, e turmalina, todos muito dissolvidos, com bordas corroídas (Figura 51). É interessante notar a individualização de

pequenos microagregados, com aspecto circular, que são melhor individualizados na amostra P3Aa, que corresponde ao horizonte da argila aluminosa.

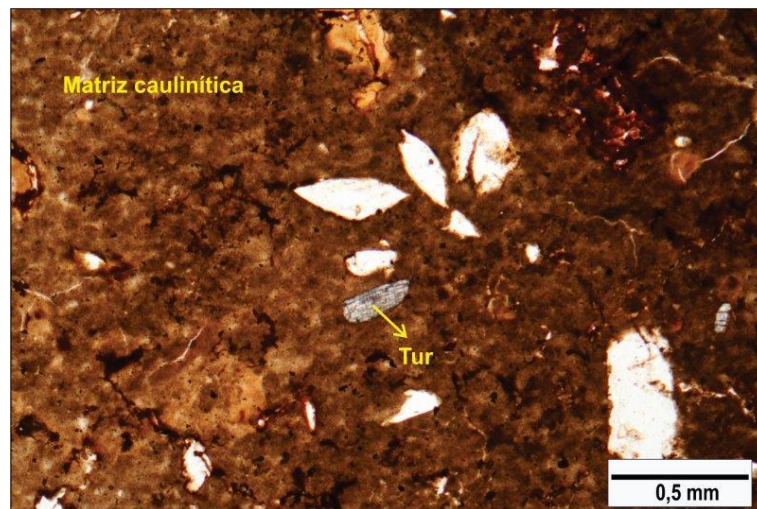


Figura 51 - Grãos de quartzo e turmalina em meio à matriz caulínica.

Na amostra P3Aa, assim como na amostra P3Ma, a matriz caulínica é predominante, mas há locais de concentração de matriz ferruginosa. O mineral primário predominante é o quartzo. Quando comparando-se ao perfil da BR-050, a argila aluminosa apresenta algumas estruturas microagregadas de aspecto circular, que se assemelham à concentração de pisólitos (Figura 52).

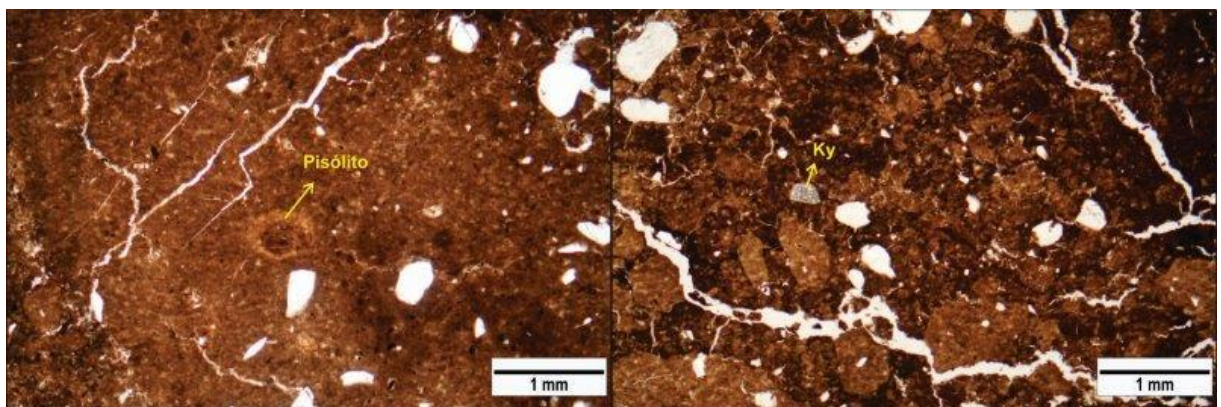


Figura 52 - Feição arredondada lembrando os pisólitos encontrados no horizonte manchado e saprólito do perfil P4.

6.2 Perfil Granulométrico, Geoquímico e Mineralógico

6.2.1 Composição granulométrica

A composição granulométrica foi realizada segundo os métodos EMBRAPA, e a partir dos resultados obtidos pelos ensaios de granulometria fica evidente a predominância da fração argila em todas as amostras do perfil da BR-050, (P4) e do perfil da depressão topográfica (P3), sendo a porcentagem da fração silte + argila até 8 vezes maior em relação à fração areia, na posição a 30 cm do perfil P3 (Tabela 1).

Tabela 1 - Quantificação das frações areia, silte e argila.

Local	Profundidade cm	Porcentagem %						
		Areia ou fração			Fração			
		Grossa 2,0 - 0,25 mm	Fina 0,25 - 0,053 mm	Areia Total	Silte 0,053 a 0,002 mm	Argila <0,002 mm	Silte + Argila	*Resíduo
P3	50	31,13	9,42	34,79	9,79	55,42	65,21	0,00
P3	90	7,22	5,04	11,36	10,73	77,91	88,64	0,00
P3	110	7,58	4,16	10,97	7,53	81,50	89,03	0,00
P3	120	7,06	3,27	10,21	8,66	81,13	89,79	0,00
Trad. P3	10	9,34	4,52	13,27	14,66	70,29	84,94	1,79
Trad. P3	30	8,55	2,94	10,24	17,90	65,44	83,34	6,42
Trad. P3	50	9,41	4,19	12,43	15,93	67,63	83,55	4,02
Trad. P3	140	14,69	4,13	18,59	4,69	76,72	81,41	0,00
Trad. P3	200	8,95	2,72	11,55	8,32	80,13	88,45	0,00
Trad. P3	280	12,11	3,02	14,98	5,46	79,56	85,02	0,00
Trad. P3	330	8,76	2,62	11,28	9,97	78,75	88,72	0,00
P4	300	15,15	9,92	24,56	8,52	66,92	75,44	0,00
P4	600	20,92	10,91	31,40	9,25	59,35	68,60	0,00

As porções mais arenosas dos perfis estudados encontram-se a 600 cm do perfil P4, no horizonte manchado e saprólito, e a 50 cm do perfil P3. No horizonte manchado do perfil P4 a fração silte + argila é apenas 2 vezes mais presente do que a fração areia. O aumento da fração argila na depressão pode estar associado à maior presença de água e fluxo interno no perfil. A desferruginização e a possível dissolução do quartzo podem reduzir o tamanho das partículas, ou seja, o aumento é relativo em relação à fração areia.

Batezelli (2003) destacou a presença de fácies argilito maciço na Formação Marília, principalmente no Membro Serra da Galga, sendo frequentes finas camadas separando estratos arenosos, lentes métricas, bolsões irregulares decimétricos e também na forma de

bolas de argila com até 30 centímetros (BATEZELLI, 2003). Tal descrição é coerente com o contexto deposicional descrito por Fernandes & Coimbra (2000).

6.2.2 Óxidos totais

Para a análise de óxidos foram quantificados os óxidos totais de silício (SiO_2), titânio (TiO_2), alumínio (Al_2O_3), ferro (Fe_2O_3), manganês (MnO), magnésio (MgO), cálcio (CaO), sódio (Na_2O), potássio (K_2O), fósforo (P_2O_5) e também o elemento Zircônio (Zr), em Espectrômetro de Fluorescência de Raios X (Laboratório de Geoquímica – DPM/UNESP), para os dois perfis estudados. O objetivo desta análise é avaliar as perdas e ganhos relativos de elementos químicos no perfil, buscando encontrar padrões de alteração e correlação entre eles.

Nos perfis, são expressivas apenas as variações dos teores dos óxidos SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 uma vez que os cátions básicos (MgO , CaO , Na_2O , K_2O) foram eliminados do meio, típico de ambientes com alteração laterítica. O intemperismo químico e a lixiviação de bases e sílica durante longos períodos de tempo geológico resultam em material rico em caulinita, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (KRONBERG & MELFI, 1987).

Os resultados obtidos com a análise de óxidos totais são apresentados abaixo (Tabela 2). Observa-se que no perfil onde há predominância de argila refratária (P3), os teores de SiO_2 são inferiores ao encontrado tanto na tradagem (Trad. P3) no mesmo local quanto no perfil P4; em contrapartida, os teores de Al_2O_3 no perfil P3 são superiores ao encontrado no perfil P4.

Tabela 2 - Óxidos Totais e de Zr expresso em porcentagem.

Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO+MgO+ CaO+Na ₂ O+ K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Soma	Zr
%									
P3 - 25 cm	14,7	42,8	2	2,35	0,22	0,19	37,8	100,01	509
P3 - 50 cm	13,5	46,4	1,7	2,57	0,2	0,15	35,5	99,99	553
P3 - 90 cm	17,4	51,6	1,6	4,01	0,24	0,09	25,1	100,01	957
P3 - 110 cm	16,2	54,2	1	3,8	0,16	0,06	24,6	100,02	983
P3 - 120 cm	15,7	53,6	0,9	4,11	0,14	0,05	25,5	100,01	1081
Trad. P3 – 10 cm	18,51	45,77	5,2	3,06	0,05	0	27,39	100	534
Trad. P3 – 30 cm	16,65	48,93	4,02	3,28	0,06	0,2	26,85	100	612
Trad. P3 – 50 cm	25,83	41,54	4,11	3,07	0,08	0,19	25,17	100	684
Trad. P3 – 80 cm	24,77	42,3	6,21	3,19	0,1	0,16	23,24	100	684
Trad. P3 – 100 cm	32,43	43,87	1,99	3,5	0,09	0,11	18,01	100,01	849
Trad. P3 – 110 cm	37,38	41	1,45	3,42	0,13	0,08	16,52	99,99	745
Trad. P3 – 140 cm	37,74	41,28	1,55	3,34	0,09	0,03	15,96	100,01	864
Trad. P3 – 200 cm	42,68	38,67	1,87	2,94	0,1	0,03	13,69	100,01	775
Trad. P3 – 280 cm	46,67	37,29	1,03	2,5	0,15	0,04	12,32	100	593
P4 - 3 cm	51,81	24,79	11,72	1,27	0,25	0,12	10,02	99,99	337,4
P4 - 20 cm	70,41	17,61	4,25	0,84	0,3	0,05	6,52	99,99	284,9
P4 - 100 cm	32,79	22,32	32,57	1,16	0,31	0,11	10,75	100,02	181,2
P4 - 300 cm	41,51	23,62	22,39	1,31	0,18	0,07	10,91	100	225,5
P4 - 500 cm	55,66	22,44	11,04	1,36	0,15	0,05	9,29	100	297,8
P4 - 600 cm	31,22	18,34	38,52	0,92	0,12	0,12	10,78	100,03	144,1

É possível observar ainda, que o ferro (Fe₂O₃) apresenta comportamento inverso ao alumínio (Al₂O₃), havendo menores concentrações no centro da depressão (P3) e maiores concentrações no perfil da BR-050 (P4).

A alta concentração de alumínio no perfil P3 caracteriza a riqueza química e econômica do material, uma vez que elevados teores de Al₂O₃ tendem a aumentar a refratariedade da argila (CETEM, 2005).

Em ambiente saturado rico em matéria orgânica como o da área de estudo, o ferro (Fe³⁺) é reduzido (Fe²⁺) e se torna altamente susceptível de ser exportado com a solução do solo (FRITSCH *et al.*, 2007) resultando em um horizonte caulínico com baixo ferro e elevado teor em Al₂O₃.

A diminuição do teor de quartzo em direção ao topo do perfil, ao considerarmos que o perfil P3 está topograficamente acima o perfil P4, pode ser explicada segundo Tardy (1993), que expõe que em um perfil de alteração laterítica, dois níveis se caracterizam pela dissolução do quartzo (1) o nível da alterita em decorrência da presença de soluções mais básicas e (2) e

os níveis superiores pela renovação das soluções com baixa sílica. A renovação das soluções percolantes pobres em sílica acidifica o meio e pode dissolver o quartzo (MELFI, 1997).

O comportamento dos elementos no perfil estudado é um indicativo do ambiente de formação, onde em um ambiente com pH baixo, o Si se torna móvel e é assim lixiviado do perfil. O mesmo ocorre com o Fe, em ambiente com pH baixo e ambiente redutor, que é solubilizado e lixiviado do perfil, processo determinado pela hidromorfia. De forma geral, a evolução geoquímica do perfil tende à aluminização.

Em couraças formadas a partir de rochas ricas em quartzo são encontradas concentrações elevadas de caulinita e hematita acompanhadas do quase desaparecimento do quartzo, indicando que nestas situações o quartzo protege a caulinita e a caulinita permite o enriquecimento em hematita (ROQUIN, *et al.*, 1990). A análise petrográfica confirma a hipótese da dissolução do quartzo uma vez que é comum encontrar grãos com feições de dissolução e preenchidos por material ferruginoso. A dissolução também é responsável por fracionar os grãos maiores de quartzo em grãos menores, do tamanho de silte. Apesar das evidências, o refinamento geoquímico deveria ser feito para comprovar se esta dissolução é generalizada nos perfis estudados.

Foram separados também os minerais pesados do perfil P4 e da argila aluminosa do perfil P3. Como os minerais pesados podem ter origem primária numa vasta gama de rochas, onde ocorrem muito disseminados (isto é, como minerais acessórios), o seu estudo revela-se particularmente interessante. A presença de determinadas espécies no sedimento poder ser utilizada como traçador da origem desse sedimento e, conseqüentemente, como indicador da dinâmica sedimentar (DIAS, 2010). Nos perfis foram encontrados cianita, estauroлита, turmalina, rutilo e zircão, sendo possível afirmar que o sedimento possui a mesma área fonte, neste caso, as rochas da Formação Araxá, conjunto de rochas metamórficas que são ricas em cianita e estauroлита.

6.2.3 Caracterização mineralógica por Difractometria de Raios X

Com os resultados obtidos, foi possível identificar a similaridade mineralógica nos dois perfis, com predominância de minerais como caulinita, quartzo e magnetita na fração areia; caulinita e gibbsita na fração argila e caulinita, goethita e quartzo na fração total.

No perfil P4 foram realizadas análises nas amostras coletadas a 300 cm e a 600 cm, para as frações areia e argila, além da análise total do material obtido por tradagem. A fim de aprimorar e aperfeiçoar o entendimento do perfil, no horizonte manchado, entre 490 e 600 cm,

foram individualizados três conjuntos de cores presentes, resultando assim na análise da fase amarela, da fase branca e da fase vermelha. Este procedimento permite que se reconheçam diferenças mineralógicas que possam estar associadas ao sedimento ou à evolução supérgena do perfil.

A composição mineralógica do perfil P4, para a fração areia (Gráfico 1) indica que o material é composto predominantemente por quartzo e secundariamente caulinita. Ocorrendo também goethita, hematita, rutilo e zircão. A presença da caulinita na fração areia pode ser explicada devido a dificuldade na desagregação total das partículas no preparo das amostras tanto para as análises granulométricas, análise química total e difratometria de raios x.

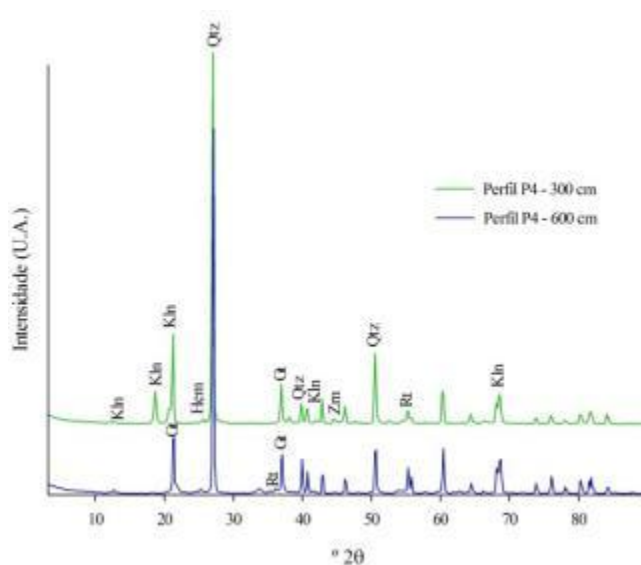


Gráfico 1- Difratogramas de raios X fração areia do perfil P4. Legenda: Kln - caulinita; Mag - magnetita; Rt - rutilo; Gt - goethita; Qtz - quartzo; Zrn - zircão.

Para a fração argila (Gráfico 2), foi observado a predominância de caulinita (7,14 Å) (intensidade relativa do pico a 100%), seguida por gibbsita e goethita, há ainda indícios de hematita (2,51 e 1,68 Å).

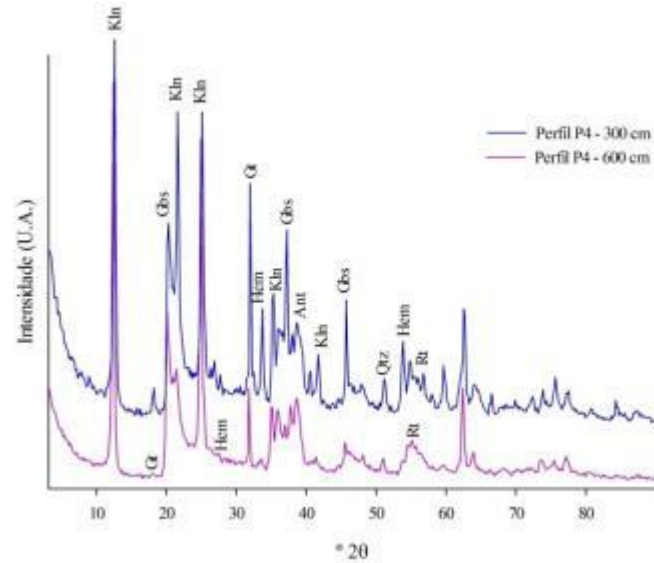


Gráfico 2 - Difratoformas de raios X fração argila do perfil P4. Legenda: Kln - caulinita; Gt - goethita; Gbs - gibbsita; Hem - hematita; Ant - anatásio; Qtz - quartzo; Rt - rutilo.

No perfil 4 (P4), com o auxílio de um trado manual (Trad. P4) foram coletadas três amostras, entre os intervalos de 780-790 cm, 960-970 cm e 990 cm, com as quais foi realizada a análise da amostra bruta (Gráfico 3). Os resultados indicaram a presença de caulinita (7,14 e 3,56 Å), quartzo (3,34 e 2,28 Å), além de goethita (2,45 Å) e anatásio (1,48 Å).

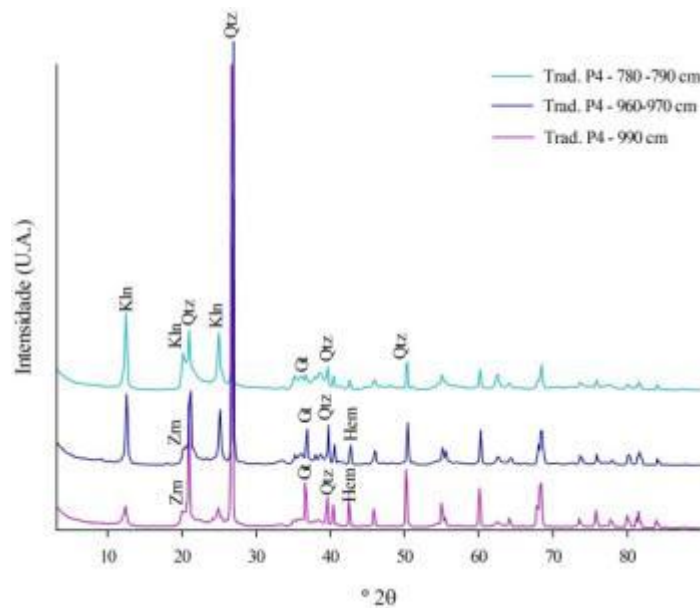


Gráfico 3 - Difratoformas de raios X para as amostras de trado do perfil P4 (Trad. P4). Legenda: Kln - caulinita; Qtz - quartzo; Gt - goethita; Hem - hematita.

A análise das fases individualizadas mostraram resultados similares, na fase vermelha (Gráfico 4) e na fase amarela (Gráfico 5) a mineralogia é bastante similar, sendo o pico do quartzo o com intensidade relativa de 100%, além da presença de caulinita aparecem ainda minerais micáceos.

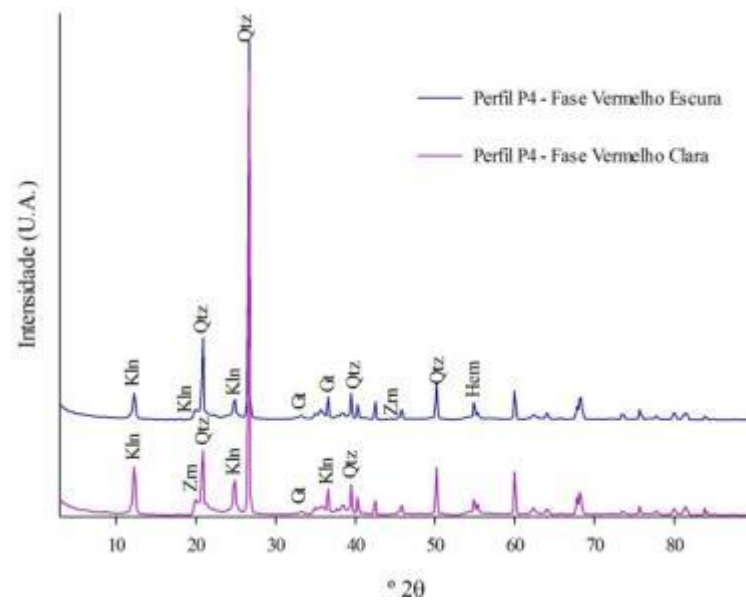


Gráfico 4 - Difrações de raios X para a fase vermelho escura e vermelho clara do perfil BR-050. Legenda: Kln - caulinita; Qtz - quartzo; Zrn - zircão; Gt - goethita.

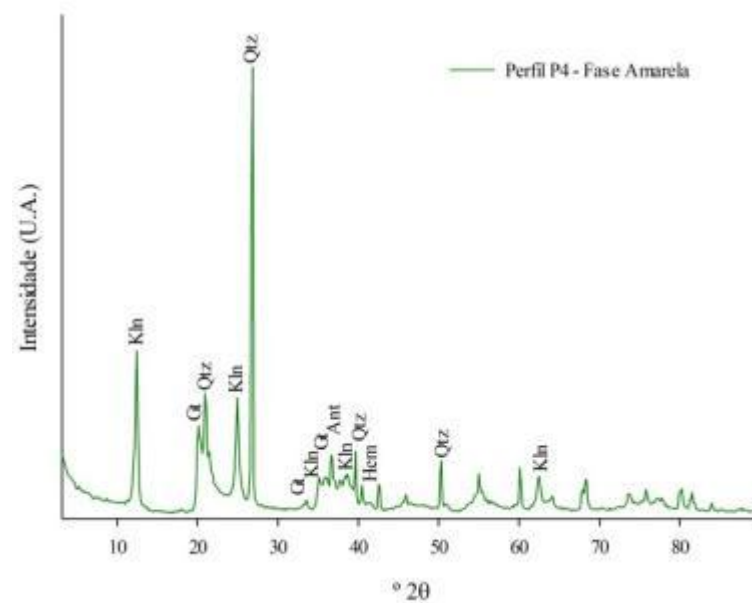


Gráfico 5 - Difrações de raios X para a fase amarela do perfil P4. Legenda: Kln - caulinita; Qtz - quartzo; Gt - goethita; Ant - anatásio; Hem - hematita.

A fase branca (Gráfico 8) manteve a mineralogia similar a encontrada na fase amarela e vermelha com caulinita, gibbsita e quartzo.

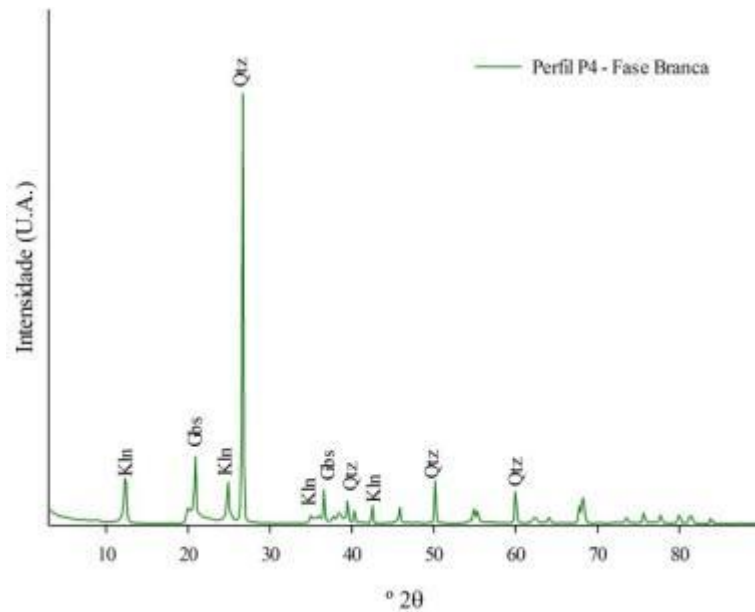


Gráfico 6 - Difração de raios X para a fase branca do perfil P4. Legenda: Kln - caulinita; Gbs - gibbsita; Qtz - quartzo.

No perfil do centro da depressão (P3) foi realizada a abertura de uma trincheira, na qual foram analisados 4 horizontes da amostra bruta e fração argila, e também a amostragem por trado manual (Trad. 3) de 5 níveis do perfil para análise por difração de raio X para a fração areia e argila.

A composição mineralógica da amostra bruta (Gráfico 7) indica que o arenito é composto majoritariamente por quartzo (picos nas posições 3,34 e 4,25 Å). Ocorre também caulinita (7,14 e 3,56 Å), goethita e hematita. Na alterita a composição mineralógica é similar exceto pela presença do anatásio. Na amostra P3Ma, referente ao horizonte manchado, e na amostra P3Aa, referente à argila aluminosa, destaca-se a presença da gibbsita (picos em 4,84, 4,37, 4,33 Å). Nota-se que a principal associação mineralógica no arenito e na alterita é o quartzo predominante (intensidade relativa do pico a 100%) com caulinita enquanto que na P3Ma e na P3Aa predomina a gibbsita com caulinita e quartzo.

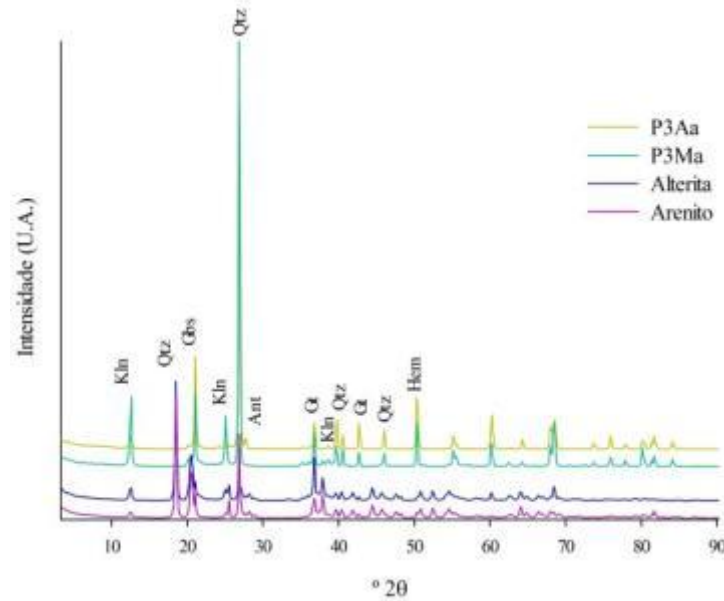


Gráfico 7 - Difratoformas de raios X da amostra bruta do perfil do centro da depressão (P3). Legenda: Kln - caulinita; Gbs - gibbsita; Qtz - quartzo; Hem - hematita; Gt - goethita; Ant - anatásio.

Considerando apenas a fração argila (extraída por pipetagem) (Gráfico 8), no arenito aparece pico de mineral micáceo (na posição de 10\AA) que desaparece nos horizontes subjacentes, indicando alteração e formação da caulinita (picos em $7,17$ e $3,57\text{\AA}$) que passa a ser o argilomineral predominante.

Picos de gibbsita ($4,85$, $4,37$ e $2,17\text{\AA}$) aparecem discretamente no arenito e torna-se determinante na P3Ma e P3Aa indicando aumento da intensidade da alteração laterítica. O quartzo ($3,34\text{\AA}$) também aparece como componente mineral da fração argila em todos os horizontes indicando intenso fracionamento ou reprecipitação da sílica. Picos principais da goethita ocorrem no arenito e na alterita indicando meios mais hidratados, enquanto picos da hematita ($2,69\text{\AA}$) ocorrem na P3Ma, coerente com a elevada concentração ferruginosa nodular. Predominam a hematita e goethita e o hidróxido de alumínio, a gibbsita.

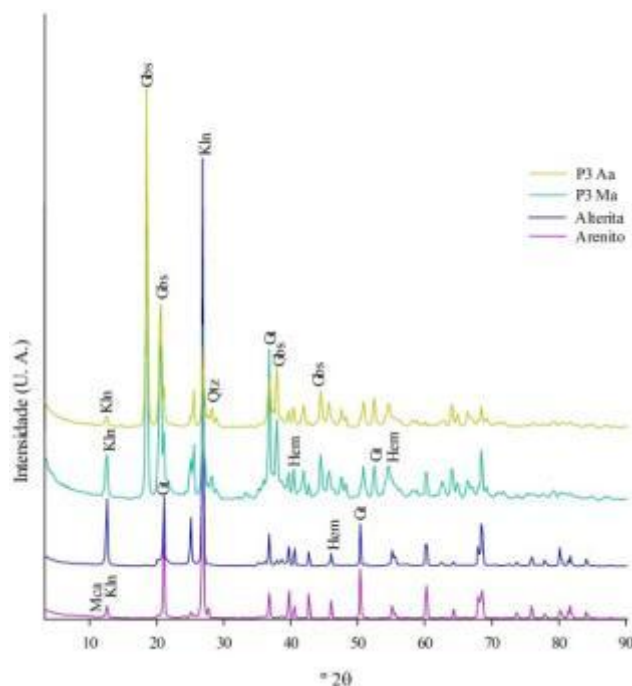


Gráfico 8 - Difratoformas de raios X da fração argila do perfil do centro da depressão (P3). Legenda: Mca - mineral micáceo; Kln - caulinita; Gbs - gibbsita; Qtz - Quartzo; Hem - hematita; Gt - goethita.

A composição mineralógica obtida não reflete descontinuidade mineralógica entre a rocha e os horizontes de alteração e pedogênese, indicando estreita similaridade e possível filiação.

Do ponto de vista mineralógico, o arenito se revela uma rocha de natureza não exclusivamente quartzosa, mas feldspática (observado em microscopia óptica), micácea e caulínica associada com óxidos de ferro e alumínio, cujos produtos de alteração resultam majoritariamente em argilominerais secundários caulíníticos com forte presença de gibbsita.

Os minerais hidratados de alumínio se formam e estabilizam nos níveis superiores dos perfis de alteração após intensa dessilicificação ou ligados aos minerais ferruginosos (Al-hematita e Al-goethita) nos níveis lateríticos endurecidos ou nodulares (TROLARD, *et al.*, 1993, MELFI, 1997). A desferruginização enriquece a matriz da argila aluminosa (P3Aa) em caulinita e gibbsita, adequando seu uso como material refratário.

Ainda no perfil P3, com o auxílio de um trado manual (Trad. P3) foram coletadas cinco amostras, entre os intervalos de 10 cm, 30 cm, 140 cm, 200 cm e 330 cm, com as quais foram realizadas as análises da fração areia e argila.

Na fração areia (Gráfico 9) há a repetição de alguns minerais por todo o perfil como quartzo (2,28 Å), hematita (2,48 Å) e caulinita. Nos níveis a 10 e 140 cm é encontrado anatásio e hematita, e no nível a 200 cm aparecem picos de rutilo.

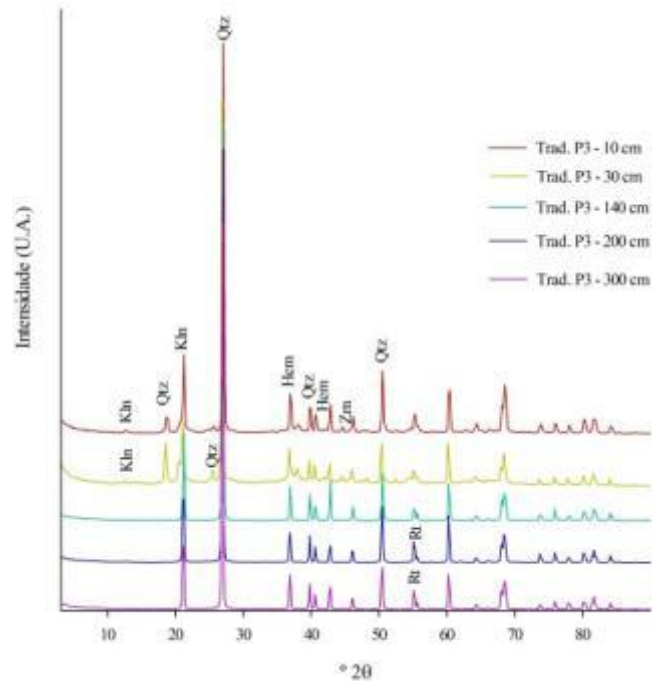


Gráfico 9 - Difração de raios X para a fração areia das amostras obtidas por trado (Trad. P3) no perfil do centro da depressão (P3). Legenda: Kln - caulinita; Qtz - quartzo; Hem - hematita; Zrn - zircão; Rt - rutilo.

A fração argila (Gráfico 10) apresenta principalmente caulinita e gibbsita, além de quartzo.

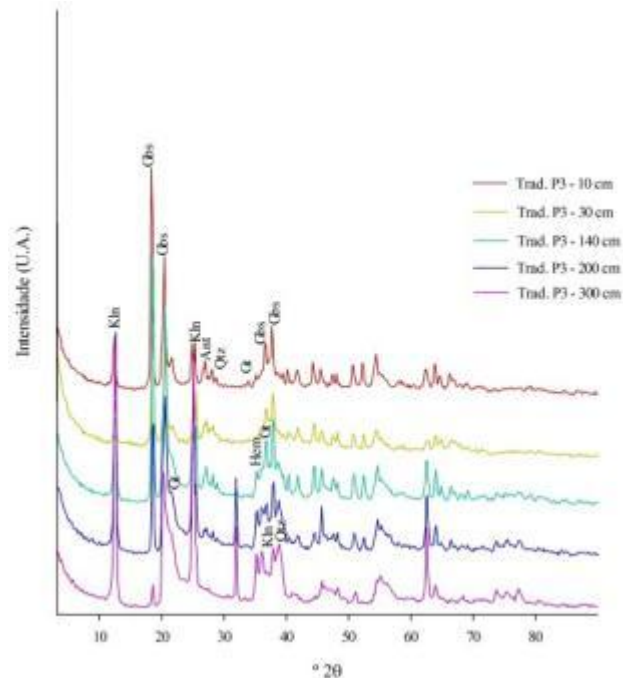


Gráfico 10 - Difração de raios X para a fração argila das amostras obtidas por trado (Trad. P3) no perfil do centro da depressão (P3). Legenda: Kln - caulinita; Gbs - gibbsita; Gt - goethita; Ant - anatásio; Zrn - zircão.

6.3 Hipótese sobre a formação das argilas aluminosas a partir do nível ferruginoso e pedogênese do arenito do Membro Serra da Galga (Formação Marília)

Nesta dissertação foram apresentados dados petrográficos, geoquímicos e mineralógicos de perfis de alteração e solos que contribuíram para elucidar os processos superficiais que vinculam o arenito do Membro Serra da Galga com a presença de couraça ferruginosa e a formação de argilas aluminosas na chapada do Triângulo Mineiro. A couraça ferruginosa se forma no nível das rochas sedimentares neocretáceas da Formação Marília que se encontram profundamente alteradas e pedogeneizadas.

No Triângulo Mineiro, o compartimento de chapada estudado corresponde à Superfície Sul-Americana descrita por King (1956). Após o término da deposição sedimentar, no Paleoceno inferior (aproximadamente 65 milhões de anos AP) (DIAS-BRITO *et al.*, 2001), a superfície foi truncada por longos períodos de erosão que aplainaram o relevo, originando a superfície Sul-Americana do Terciário inferior (RADAMBRASIL, 1983).

Atualmente, o clima é tropical com forte sazonalidade em relação à umidade, porém, na escala geológica, inúmeras mudanças paleoclimáticas e paleoambientais afetaram a precipitação e temperatura das terras baixas do Neotrópico (Amazônia e Cerrado) nos últimos milhões de anos (VAN DER HAMMEN, 1991). No Eoceno (53 milhões de anos AP) se configura a vegetação característica dos trópicos da América do Sul, com destaque para o aparecimento de palmáceas (Buriti), floresta de mangues, e a indicação das formações bauxíticas em diferentes locais, indicando a ocorrência de clima quente e úmido (VAN DER HAMMEN, 1991).

Outros períodos de alternância climática se sucederam. Por exemplo, clima muito úmido e frio foi registrado no período entre 50.000 e 25.000/30.000 anos AP e um período de clima frio e muito seco entre 21.000 e 14.000 AP. Entre 13.000 e 10.000 anos AP, o clima era mais quente e mais úmido e a partir de 10.000 anos AP (Holoceno), o clima tornou-se similar ao atual, mas ainda com mudanças de temperatura e especialmente de precipitação (VAN DER HAMMEN, 1991). No cerrado do Brasil central, desde 4.600 anos AP, os registros das concentrações e diversidade das assembléias palinomórficas indicam vegetação similar às atuais características de clima úmido com estação seca pronunciada (SALGADO-LABORIAU *et al.*, 1998).

A superfície topográfica, o paleoclima e a mineralogia do arenito fornecem as condições favoráveis para a rápida alteração biogeoquímica e o desenvolvimento de espessos perfis de solos de constituição laterítica. Nesta pesquisa, as fácies de alteração e pedogênese

desde o arenito alterado até os solos são de composição relativamente monótonas, associando principalmente quartzo residual, caulinita, gibbsita, goethita, hematita e raros grãos de minerais primários bastante resistentes ao intemperismo como cianita, zircão, turmalina e rutilo característicos das rochas metassedimentares do Grupo Araxá (NAVARRO *et al.*, 2013). Contudo, existem mudanças na proporção das fases. A caulinita é a fase mais abundante no arenito alterado e nos horizontes mais profundos dos perfis do solo enquanto a gibbsita é mais expressiva nos horizontes superficiais e subsuperficiais do solo. Em relação aos óxidos-hidróxidos de ferro, a goethita e a hematita são associadas, porém a fase predominante é da goethita, estando relacionada com a presença de córtex de alteração de nódulos, dissolução da couraça e nas matrizes amarelas do Latossolo.

Na microbacia do córrego do Carço, a couraça ferruginosa, atualmente em processo de dismantelamento, foi formada a partir da alteração e pedogênese do arenito Membro Serra da Galga (Figura 53). Dados petrográficos, mineralógicos e geoquímicos comprovam a filiação. Atualmente, os níveis encouraçados estão expostos nas vertentes dissecadas da encosta da chapada (ponto P4) e quando há o entalhamento da drenagem (por exemplo, no córrego Beija Flor).

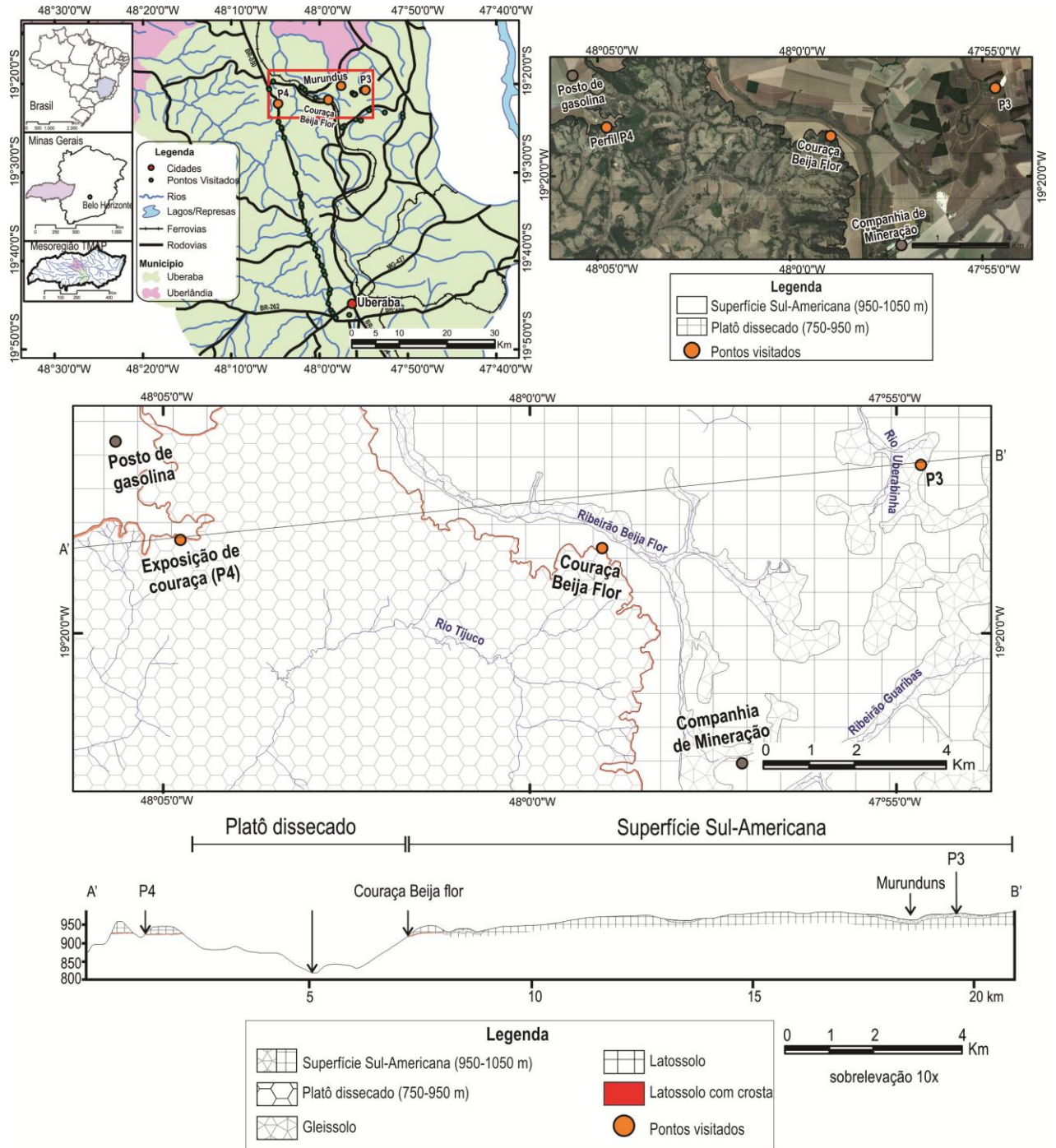


Figura 53 - Mapa esquemático hipotético da área de estudos, apresentando as áreas de ocorrência dos gleissolos (Gleysol), latossolos (Oxisol), bem como as possíveis áreas de exposição de couraça, e a demarcação da Superfície Sul-Americana de King (1956) e a dissecação da paisagem.

O modelado plano da chapada sob condições climáticas adequadas e prolongadas favorecem a formação de cobertura encouaçada ferruginosa pouco permeável (TARDY, 1993). No campo, a couraça foi encontrada sempre associada com o arenito do Membro Serra da Galga, que na coluna estratigráfica da chapada, se sobrepõe ao Membro carbonático Ponte Alta. Segundo Fernandes & Ribeiro (2015), os dois membros possuem similaridade de fácies sedimentares, mas foram subsequentemente diferenciados pela ação do lençol freático no

Membro Ponte Alta. O nível inferior do arenito maciço tabular foi cimentado com carbonato (calcretes) por causa da ação do lençol freático e da pedogênese atuante. Portanto, o nível superior do arenito formado pela sedimentação aluvial contendo níveis argilosos que corresponde ao Membro Serra da Galga, ficou exposto às condições atmosféricas de temperatura e precipitação.

A percolação vertical da água da chuva dentro do domínio não saturado foi facilitada pela superfície tabular. O movimento da água é vertical descendente em regime de percolação, ou quando a precipitação excede a evapotranspiração (TARDY, 1993), condição atuante por longo tempo geológico na chapada.

Vegetação esparsa de savana, clima úmido, superfícies tabulares tectonicamente estáveis e antigas são as condições propícias para a formação de couraças ferruginosas que hoje estão integradas localmente na coluna estratigráfica do topo da chapada. O produto da alteração do arenito corresponde a um material caulínico, fortemente empobrecido em cátions básicos, com concentrações absolutas de hematita que conservaram a estrutura original da rocha sedimentar. As fácies petrográficas indicam que o encouraçamento laterítico ocorreu no nível saprolítico do arenito o que sugere tratar de um evento ambiental importante. As couraças ferruginosas são um indicador paleoclimático e paleogeográfico da paisagem Mesozóica e Cenozóica das regiões tropicais e a diferenciação vertical do perfil reflete as condições ambientais sob as quais ela se desenvolveu (NAHON, 1991).

Atualmente, na base do perfil encouraçado encontra-se um horizonte mosqueado formado pela degradação da couraça, a qual parece estar avançando tanto por cima quanto por baixo. As manchas brancas muito argilosas se formam após a perda do ferro da matriz ferruginosa que passa a exibir córtex e volumes amarelos indicativos de dissolução atual. A formação de horizonte pisolítico no topo do perfil encouraçado, a individualização de pisólitos desferruginizados no interior da crosta ferruginosa e isoladamente no horizonte manchado evidencia o desmantelamento da couraça (TARDY, 1993, BEAUVAIS, 2009).

Nos relevos tropicais com modelado plano, o nível freático nunca é profundo (TARDY, 1993), o que justifica a presença do horizonte manchado. Além do perfil P4, os horizontes manchados são generalizados na chapada, aparecendo sob o horizonte B do Latossolo amarelo, em baixa profundidade (~110 cm de profundidade) e no Gleissolo (perfil P3) quando está sobreposto por um horizonte desferruginizado branco. A elevação do nível freático na chapada pode estar relacionada com a presença de uma fase climática mais úmida que a pretérita, que propicia a expansão da vegetação florestal (cerradão, por exemplo) que

está vigente desde aproximadamente 3.200-2.000 anos AP até os dias atuais (Pleistoceno inferior – Holoceno) (PESSENDA *et al.*, 2010).

A degradação de couraça ferruginosa é esperada quando há o desequilíbrio bioclimático, que neste caso, é o aumento da quantidade e da permanência da água no sistema. Por exemplo, na Amazônia Brasileira (NAHON *et al.*, 1989) e na África no contato floresta-savana (BEAUVAIS, 2009), a formação de Latossolos argilosos sucedeu a degradação de crostas ferruginosas após o aumento da quantidade de chuvas, o estabelecimento de cobertura florestal que ampliou a degradação mecânica da couraça pelo aprofundamento das raízes e o aumento da bioturbação. Com base nesses exemplos e em outros citados ao longo da dissertação, pode se relacionar a presença de perfil pouco profundo do Latossolo vermelho-amarelo com horizonte mosqueado como um produto da dissolução de couraças ferruginosas devido ao maior volume de água no topo da chapada. Contudo, até esta etapa da pesquisa, ainda não é possível reconstruir as fases e os processos que atuaram na transformação da cobertura pedológica na escala da paisagem.

No campo, os perfis de Latossolo com couraça ou argilosos vermelho-amarelado a amarelo-avermelhado (o perfil típico estudado corresponde ao ponto P4) com horizonte manchado estão sempre presentes nas posições topograficamente elevadas do platô (Figuras 53 e 54). O Gleissolo (o perfil típico estudado corresponde ao ponto P3) está presente nas depressões topográficas e possui as argilas brancas, enriquecidas em alumínio, desenvolvidas em ambiente hidromórfico com nível freático raso, oscilante e sazonalmente aflorante. Latossolo e Gleissolo constituem a cobertura pedológica da bacia do córrego do Carço e formam um sistema conectado na paisagem.

Combinando a estratigrafia com a litologia, a cobertura pedológica e a topografia foi elaborado um perfil esquemático (Figura 54) que subsidia a análise da filiação entre os materiais.

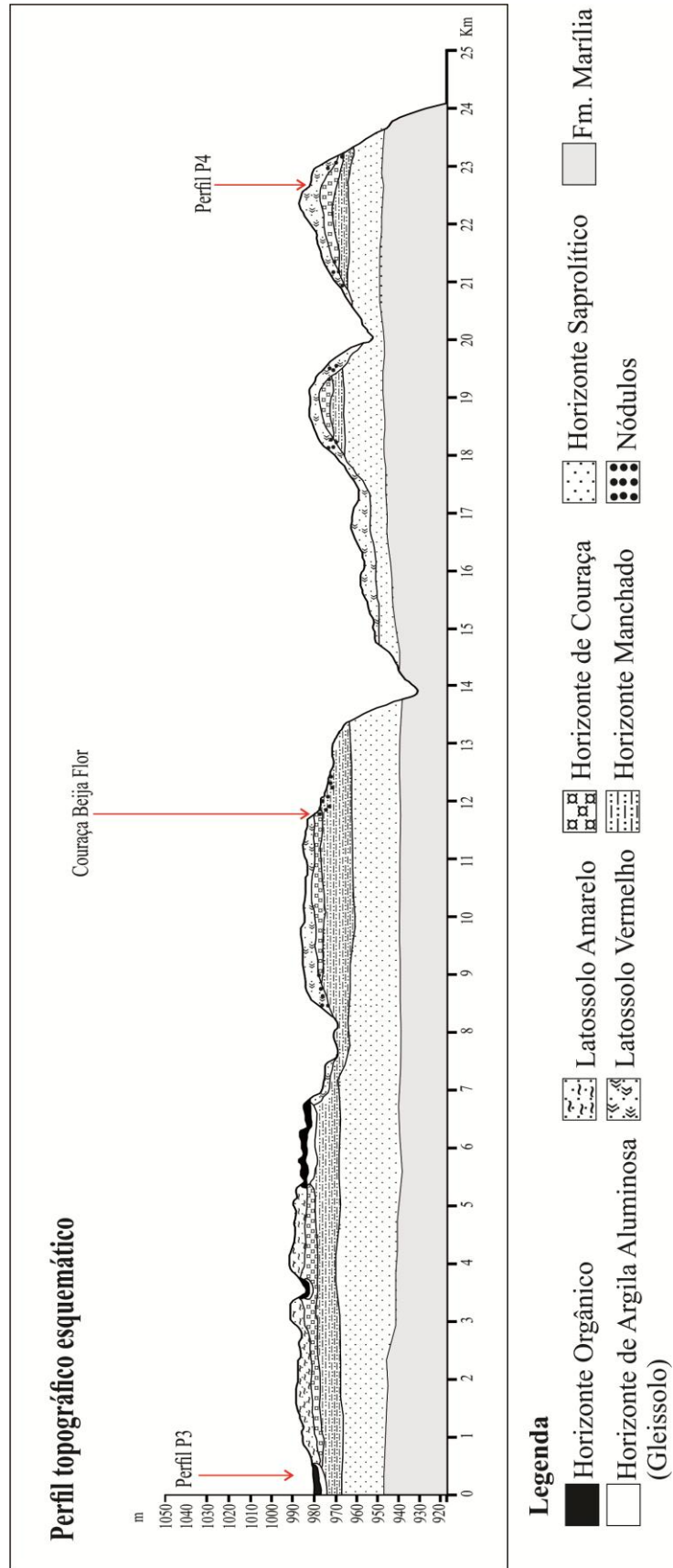


Figura 54 - Perfil topográfico hipotético esquemático desenvolvido com base nas informações coletadas em campo, análises químicas e mineralógicas e embasado na literatura, no qual o as argilas aluminosas se formam sobre a couraça ferruginosa.

No perfil, as argilas aluminosas são encontradas nas depressões topográficas no topo dos platôs, com cotas altimétricas superiores a 980 m. Em geral, essas depressões são locais onde o nível freático é raso a aflorante, criando condições propícias para a solubilização e lixiviação do ferro e parcialmente da sílica, e dessa forma, ocasionando o enriquecimento relativo de alumínio. A formação das áreas hidromórficas do topo pode ter sido facilitada pela cimentação carbonática do Membro Ponte Alta que, segundo Fernandes & Ribeiro (2015), aumenta a resistência à erosão do arenito gerando vales longos e pouco profundos na chapada. O aumento da umidade ligada ao clima (precipitação média anual > 1600 mm) na superfície plana torna o domínio pedológico mais saturado e o movimento da água do lençol torna-se essencialmente lateral, de montante para jusante (TARDY, 1993). A ação da água e seu movimento levam à solubilização e translocação de óxidos de Fe e Mn nos solos que amplia o aprofundamento da depressão e conseqüentemente a hidromorfia (FRITSCH *et al.*, 2007, EZE *et al.*, 2014).

Seguindo os princípios da continuidade lateral das camadas foi possível estabelecer a relação entre os materiais encontrados na bacia com a topografia e, a partir disso, definir melhor o processo de evolução. A couraça ferruginosa do perfil P4 (afloramento na encosta da chapada) está alinhada com o afloramento da couraça na meia encosta exposta pelo entalhamento do ribeirão Beija Flor.

O horizonte manchado com pisólitos formado pela flutuação do nível freático atual também foi encontrado em toda a sequência e com correspondência topográfica. Finalmente os perfis com Gleissolo estão localizados apenas nas depressões topográficas apresentando o horizonte branco composto por gibbsita e caulinita (argila aluminosa extraída como material refratário) sobre o horizonte manchado. Portanto, a relativa preservação da couraça ocorre nas cotas superiores a 980 m. Abaixo, estão se desmantelando ou desapareceram.

A solubilização de óxidos de ferro e sua subsequente translocação do perfil é favorecida pela presença abundante de água, freática ou meteórica. Da mesma forma, o pH é um fator que influencia a solubilização de cátions no solo (DOS ANJOS *et al.*, 1995). Sob condições de saturação hídrica, o Fe pode ser reduzido e assim movido entre os horizontes por iluviação e difusão-convecção para formar zonas de depleção e acumulação (EZE *et al.*, 2014).

O nível com o enriquecimento aluminoso está diretamente associado com o horizonte branco na depressão hidromórfica. O ambiente redutor explica a desferruginização e a alta concentração de matéria orgânica nos horizontes sobrepostos reduzem o pH da solução, tornando o meio fortemente ácido. A matriz caulínica e aluminosa foi herdada da fase

laterítica porém o aumento da gibbsita em relação à caulinita se deu após a dessilicificação do solo que ocorre durante fortes eventos de intemperismo. A diminuição do pH na depressão (~ 4.3 a 4.6) pode permitir a dissolução da caulinita e permanece no limite do pH da dissolução da gibbsita ($\text{pH} < 4$) (TARDY, 1993).

Além das características maiores que permitem interpretar os processos, as análises e resultados obtidos na microscopia, relatam feições como pisolitos generalizados nos horizontes manchados, feições de iluviação de argila, grãos de quartzo e outros minerais primários com feições de dissolução, que corroboram com a sugestão de que houve um evento de forte intemperismo químico tropical que culminou com a formação da couraça e que, atualmente, encontra-se em processo de desmantelamento devido ao elevado fluxo de fluídos percolantes, sejam esses provenientes da água subterrânea ou da precipitação.

A área de estudos, como dito anteriormente apresenta condições de saturação hídrica, o que reforça a possibilidade destes processos ocorrerem, e ocasionar a redução do ferro do perfil P3, acumulando assim um material argiloso, pobre em ferro e relativamente rico em alumínio.

Dos Anjos *et al* (1995) descreveram a evolução de uma topossequencia no estado do Maranhão, na qual os ferriargilans descritos em microscopia, apresentavam semelhanças com as encontradas nos perfis analisados no presente estudo, onde a cor marrom avermelhada escura aparece próxima e gradacionando para matriz amarelada a incolor em vazios. Nesta situação Dos Anjos *et al* (1995) afirmam que essa feição sugere que o Fe foi reduzido e perdido nestas superfícies quando os vazios estavam preenchidos por água. Nestes períodos de saturação, o Fe reduzido pode se mover a curtas distâncias, de zonas de depleção de ferro para zonas de acumulação (manchas brancas e vermelhas, respectivamente).

Após a interpretação dos dados gerados nesta pesquisa, a comparação destes com outros casos descritos nas regiões tropicais e no embasamento teórico, é possível afirmar que as argilas aluminosas encontradas no topo dos platôs do Triângulo Mineiro tenham se formado a partir do nível ferruginoso do Membro Serra da Galga da Formação Marília.

7. Aspectos Econômicos

A pedogênese, ocorrência e distribuição de plintita e suas formas de evolução como petroplintita, nódulos pisolíticos e ferricretes em solos tropicais são objetos de interesse devido sua importância agrônômica, paleoambiental, industrial e econômica (EZE *et al.*, 2014).

Como citado anteriormente, a área de estudo tem importância econômica. Explora-se calcário tanto para uso como corretivo de solo quanto para o uso na indústria de cimento, além da exploração de argila vermelha para fins cerâmicos e argila para uso em artigos refratários.

Com base em dados obtidos no site do DNPM (2014) pode-se observar intensa exploração mineral na região. Em geral, os minerais explorados são não metálicos, tendo destaque areias e argilas, calcário e dolomito, além de água mineral.

7.1 Argilas Refratárias

O caulim tem relevância econômica há centenas de anos, e é conhecido como "Ouro Branco" (*White Gold*), devido a sua coloração predominantemente branca e o termo "ouro" faz, de forma figurativa, uma alusão à fortuna feita por aqueles que sabiam refinar e vender o produto final, em geral porcelana, na Europa (DILL, 2016).

Além de sua importância histórica, o caulim apresenta importância geológica, pois pode ser formado tanto em rochas metamórficas, no limite diagênese-anquizona, quanto em rochas magmáticas (caulinitas primárias) e sedimentares. A caulinitização em rochas sedimentares é o processo de formação mais importante, podendo resultar em filossilicatos de caulinita autigênica que pode ser traçada desde o ambiente sedimentar sob condições superficiais, até os estágios físico-químicos de diagênese profunda de arenitos (DILL, 2016).

As argilas da área de estudo são utilizadas na indústria de materiais refratários, devido ao alto teor de gibbsita e caulinita encontrado neste material. Na área de estudo existem duas empresas que as exploram: IBAR e Magnesita.

O caulim exportado pelo Brasil é utilizado em diversos setores industriais, principalmente na indústria de papel como elemento de alvura e fixação de impressão. Entretanto, no mercado interno, existem duas principais formas de aplicação, uma é para a fabricação de cimento e outra para a utilização na indústria de cerâmica branca (DNPM, 2014).

Este material é utilizado nas indústrias siderúrgicas, do cimento, do vidro e petroquímica. Os refratários estão divididos quimicamente em 5 categorias distintas: silicosos, sílico-aluminosos, aluminosos, básicos e especiais. A argila encontrada e extraída da área de estudo insere-se na categoria "aluminosos", devido ao elevado teor de alumínio presente.

A região que compreende a área de estudo encontra-se totalmente requerida pelas empresas IBAR e Magnesita, em sua maioria para concessão de lavra e requerimento e manifesto de mina para a exploração de argilas refratárias. Em geral as áreas requeridas possuem mais que 500 ha, havendo também alguns requerimentos ao norte da área para a exploração de turfa, pela empresa Congonhas Minério S.A., para uso como insumo agrícola. Estas informações foram obtidas pelo SIGMINE, disponibilizado pelo DNPM.

Um dos maiores problemas ambientais indicados para a extração destes recursos é o fato de as áreas de exploração, geralmente, estarem localizadas próximas ou sobre nascentes de rios, aumentando a necessidade de fiscalização e controle ambiental.

7.2 Calcário

O calcário presente na área de estudo é constituído basicamente por depósitos descontínuos com forma lenticular restritos ao Membro Ponte Alta da Formação Marília (BATEZZELI, 2003)

O calcário da região é utilizado tanto na indústria para construção civil, na produção de cimento, quanto para o uso como corretivo de solo. Todas as rochas carbonáticas compostas predominantemente por carbonato de cálcio e/ou carbonato de cálcio e magnésio (calcários, dolomitos, mármore, etc.), a depender da relação CaO/MgO, são fontes para a obtenção de corretivos de acidez dos solos, portanto, as reservas brasileiras de calcário agrícola podem ser consideradas como as mesmas reservas brasileiras de calcário, independentemente de sua aplicação (DNPM 2014)

O calcário é o principal produto utilizado para corrigir a acidez dos solos no país. A qualidade do calcário agrícola é medida por um índice conhecido como Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT).

O consumo interno de calcário agrícola em 2013 não se alterou em relação a 2012, continuando a registrar o maior consumo dos últimos 20 anos. Contudo, o consumo de calcário agrícola não acompanha a evolução do consumo dos fertilizantes agrícolas, os quais somente são plenamente potencializados quando o solo recebe uma calagem adequada (DNPM 2014).

Em relação ao cimento, houve uma desaceleração no crescimento da produção no Brasil, onde mais de quinze grupos produzem cimento, sendo 6 responsáveis por mais de 80% da produção nacional (DNPM, 2014).

7.3 Potencial Hidrogeológico

A região do Triângulo Mineiro está situada na área de ocorrência do aquífero Bauru-Caiuá, pertencente à bacia sedimentar do Paraná. Tal aquífero é do tipo poroso, podendo estar livre ou semiconfinado (CPRM, 2012). Enquanto o aquífero Bauru comporta-se como semi-confinado, em virtude da presença mais frequente de intercalações lamíticas e cimentação carbonática, o aquífero Caiuá comporta-se como livre, por sua maior homogeneidade litológica, e decorrente permeabilidade (FERNANDES, 1992).

As águas subterrâneas, para o aquífero Bauru-Caiuá em toda sua extensão no Triângulo Mineiro, exibem pH básico com valores entre 7 e 10. São, de modo geral, águas de boa qualidade para consumo humano, industrial e agrícola. Por ser um aquífero livre, há maior vulnerabilidade à contaminação por atividades agrícolas e industriais. Os principais usos para as águas deste sistema são para a agropecuária e abastecimento público (CPRM, 2012).

O aquífero Bauru-Caiuá também é conhecido como Sistema Aquífero Bauru. Na região do Triângulo Mineiro, o Grupo Bauru comporta-se como aquífero livre e conforme sua distinção litológica, porosidade e dinâmica da água no subsolo, o aquífero é subdividido em dois subsistemas: Aquífero Bauru Superior e Inferior (ARAGUARI, 2015). O Aquífero Bauru Superior é formado pelos latossolos profundos e intemperizados, enquanto o Inferior engloba os arenitos e conglomerados.

Os dados de flutuação do nível estático, levantados em monitoramento de poços nas cidades de Uberlândia e Araguari, indicam que a plena recarga do aquífero se dá nos meses de fevereiro e março, e o ponto mais crítico se dá nos meses de setembro e outubro. Sendo que a variação média do nível freático do aquífero entre os períodos de estiagem e de chuva é de 3,0 m (ARAGUARI, 2015).

8. Conclusões

Com base nas informações apresentadas e discussões propostas nesta dissertação, pode-se atribuir a presença de couraça ferruginosa e a formação das argilas aluminosas aos processos de alteração e pedogênese tropicais que atuaram no arenito do Membro Serra da Galga (Formação Marília). Os arenitos da Formação Marília são a litologia que sustenta as formas de relevo tabulares do Triângulo Mineiro, referidas como superfícies de erosão Sul-Americana.

Na superfície desses relevos tubulares, se desenvolveram redes de depressões topográficas abertas, que sazonalmente são saturadas pela subida do nível freático. Tais feições são regionalmente chamadas de campos de murunduns, e consistem em pequenos montículos vegetados, com forma circular ou elíptica, localizada em cabeceiras de nascentes nos bosques do Cerrado (Cerrado *strictu sensu*). Estas feições de relevo marcadas por microtopografias são os ambientes naturais que estão associados com a presença de argilas aluminosas, altamente refratárias e conseqüentemente explotadas por empreendimentos mineiros.

Litologia, relevo tabular, longo tempo de exposição do arenito frente aos processos intempéricos e paleoclima contribuíram para a formação de perfil laterítico contendo crosta ferruginosa. Feições petrográficas mostraram que a concentração absoluta do ferro ocorreu no nível saprolítico do arenito, preservando sua estrutura e que pode ainda ser reconhecida no campo e microscopia óptica. Este material aflora apenas nas cotas altimétricas superiores a 980 m de altitude. O aumento da umidade do clima atual resulta na elevação do nível freático e ao aumento da saturação dos solos (Latossolo e Gleissolo). O resultado é o desmantelamento da couraça e a formação de horizontes manchados e pisolíticos presentes nos perfis de Latossolo e Gleissolo. Indicativos de dissolução são reconhecidos nos nódulos ferruginosos com estrutura concêntrica, feições de iluviação de argila, abertura de porosidade, cutans ferruginosos que são indicadores de que a hidromorfia sazonal relacionada com a flutuação do nível freático tem papel fundamental no desmantelamento da couraça ferruginosa.

O aumento da desferruginização causado pela maior permanência da água no solo está vinculado à presença das depressões topográficas na superfície do platô. A ampliação das condições redutoras locais resulta na degradação geoquímica da matriz ferruginosa que,

associado com a diminuição do pH do meio pela presença da matéria orgânica, pode estar favorecendo a desestabilização da caulinita (dessilicificação) e o aumento relativo da gibbsita.

Os resultados obtidos com a difratometria de raios X revelaram a similaridade mineralógica entre os dois perfis, havendo dominância na fração areia dos minerais: caulinita, quartzo e magnetita; na fração argila: caulinita e gibbsita; e na fração total: caulinita, goethita e quartzo. E o arenito apresenta uma natureza não exclusivamente quartzosa, mas feldspática, micácea e caulínica associada com oxihidróxidos de ferro e alumínio.

Considerando os fatores mineralogia primária, condições climáticas, sazonalidade de climas úmidos e secos, saturação pela elevação do nível freático e porosidade interna, e a concordância com a continuidade estratigráfica e sedimentar, pode-se inferir que os arenitos pertencentes ao Membro Serra da Galga sofreram intenso processo de ferruginização e que atualmente estão se desferruginizando, dessilicificando com conseqüente acumulação relativa de alumínio originando as argilas brancas, altamente enriquecidas em alumínio.

Dessa forma, sustenta-se a hipótese de formação *in situ* para as argilas aluminosas encontradas nos topos dos planaltos tubulares da região do Triângulo Mineiro. Cabe ainda ressaltar que a carência de dados geológicos e de estudos recentes na região dificultam a aquisição de dados e, portanto sugere-se o aprofundamento da pesquisa, com melhor detalhamento geológico e estratigráfico da área, a fim de se confirmar a hipótese aqui proposta.

9. Bibliografia

- AB'SÁBER, A. N. **Contribuição à geomorfologia da área dos cerrados**. Universidade de São Paulo, 1963.
- ALMEIDA, M. A., *et al.* Geologia do Oeste Paulista e áreas fronteiriças dos Estados de Mato Grosso do Sul e Paraná. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**. Camboriú: Sociedade Brasileira de Geologia, p. 2799-2812, 1980.
- ARAGUARI, CBH. Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Araguari.(2012).**Relatório do Grupo de Trabalho GT-CHAPADA: Proposta para Criação de APA na Chapada do Bugre/Triângulo Mineiro**, 2015.
- BACCARO, C. A. D. Unidades geomorfológicas do triângulo mineiro: estudo preliminar. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 3, p. 37-42, 1991.
- BASILICI, G., *et al.* Climate-induced sediment-palaeosol cycles in a Late Cretaceous dry aeolian sand sheet: Marília Formation (North-West Bauru Basin, Brazil). **Sedimentology**, v. 56, n. 6, p. 1876-1904, 2009.
- BASILICI, G.; SGARBI, G. N.; DAL'BÓ, P. F. F., HASUI, Y. A Sub-bacia Bauru: um sistema continental entre deserto e cerrado. **Geologia do Brasil**. Beca, p. 520-543, 2012.
- BARCELOS, J. H.; LANDIM, P.M.B.; SUGUIO, K. Análise Estratigráfica das Sequências Cretácicas do Triângulo Mineiro (MG) e suas correlações com as do Estado de São Paulo. In **Simpósio Regional de Geologia**, v. 3, p. 90-102, 1981.
- BARCELOS, J. H. **Reconstrução paleogeográfica da sedimentação do Grupo Bauru baseada na sua redefinição estratigráfica parcial em território paulista e no estudo preliminar fora do Estado de São Paulo**. Dissertação de Livre Docência. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 190p, 1984.
- BATEZELLI, A. **Análise da sedimentação cretácea no Triângulo Mineiro e sua correlação com áreas adjacentes**. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, 195p., 2003.
- BATEZELLI, A., *et al.* Análise Estratigráfica aplicada à Formação Araçatuba (Grupo Bauru-Ks) no centro-oeste do Estado de São Paulo. **Geociências**, v. 22, n 1, p. 5-32, 2003.
- BATEZELLI, A.; LADEIRA, F. S. B. Stratigraphic framework and evolution of the Cretaceous continental sequences of the Bauru, Sanfranciscana, and Parecis basins, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 65, p. 1-24, 2016.
- BEAUVAIS, A. Ferricrete biochemical degradation on the rainforest–savannas boundary of Central African Republic. **Geoderma**, v. 150, n. 3, p. 379-388, 2009.
- BEAUVAIS, A.; ROQUIN, C. Petrological differentiation patterns and geomorphic distribution of ferricretes in Central Africa. **Geoderma**, v. 73, n. 1, p. 63-82, 1996.
- BERTINI, R. J.; SANTUCCI, R. M.; ARRUDA-CAMPOS, A. C. Titanossauros (Sauropoda: Saurischia) no Cretáceo Superior continental (Formação Marília, Membro Echaporã) de Monte Alto, Estado de São Paulo, e correlação com formas associadas do Triângulo Mineiro. **Geociências**, v. 20, n. 1, p. 93-103, 2001.
- BRIMHALL, G. H., *et al.* Quantitative geochemical approach to pedogenesis: importance of parent material reduction, volumetric expansion, and eolian influx in lateritization. **Geoderma**, v. 51, n. 1, p. 51-91, 1991.

- BUTT, C.R.M.; LINTERN, M.J.; ANAND, R.R. Evolution of regoliths and landscapes in deeply weathered terrain—implications for geochemical exploration. **Ore Geology Reviews**, v. 16, n. 3, p. 167-183, 2000.
- CETEM. Centro de Tecnologia Mineral/Ministério da Ciência e Tecnologia. **Bauxita**. Comunicação Técnica elaborada para Edição do Livro Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações. Rio de Janeiro, 2005, 279 a 304 pp.
- CORRÊA, W. L. P. **Contribuição à gênese e caracterização tecnológica das argilas da região de Uberaba**, Minas Gerais. 2006. 143 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- COSTA, M.L.; SOUSA, D.J.L.; ANGÉLICA, R.S. The contribution of lateritization processes to the formation of the kaolin deposits from eastern Amazon. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 27, n. 2, p. 219-234, 2009.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Relatório diagnóstico do sistema aquífero Bauru-Caiuá no estado de Minas Gerais, Bacia Sedimentar do Paraná**. v. 13, 37 p., 2012.
- DAL'BÓ, P. F. F.; BASILICI, G. Estimativas de paleoprecipitação e gênese de feições cálcicas e argílicas em paleossolos da Formação Marília (Neocretáceo da Bacia Bauru). **Geociências (São Paulo)**, v. 29, n. 1, p. 33-47, 2010.
- DELVIGNE, J. E. **Atlas of micromorphology of mineral alteration and weathering**. Canadá: ed Ostom, Mineralogical association of Canada, 1998.
- DIAS, J. A. **A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos**: Uma Introdução à Oceanografia Geológica. 2010. Universidade do Algarve, UALg, 84p. E-book disponível em: <http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/eb_Sediment.html>. Acesso em maio, 2016, v. 12, n. 08, p. 201, 2010.
- DIAS-BRITO, D. *et al.* Grupo Bauru: uma unidade continental do Cretáceo no Brasil—concepções baseadas em dados micropaleontológicos, isotópicos e estratigráficos. **Revue de Paléobiologie**, v. 20, n. 1, p. 245-304, 2001.
- DILL, H. G. Kaolin: Soil, rock and ore: From the mineral to the magmatic, sedimentary and metamorphic environments. **Earth-Science Reviews**, v. 161, p. 16-129, 2016.
- DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral**, 2014.
- DNPM - SANTANA, A. L. Alumínio. **Sumário Mineral, DNPM**, 2014.
- DNPM - SOEIRO, E. R. Caulim. **Sumário Mineral, DNPM**, 2014.
- DOS ANJOS, L. H. C.; FRANZMEIER, D. P.; SCHULZE, D. G. Formation of soils with plinthite on a toposequence in Maranhão State, Brazil. **Geoderma**, v. 64, n. 3, p. 257-279, 1995.
- EMBRAPA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Manual de métodos de análise de solo**. Embrapa, 1997.
- EZE, P. N.; UDEIGWE, T. K.; MEADOWS, M. E. Plinthite and its associated evolutionary forms in soils and landscapes: a review. **Pedosphere**, v. 24, n. 2, p. 153-166, 2014.
- FERNANDES, L. A. **A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá**. 1992. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 1992.

- FERNANDES, L. A. **Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil)**. 1998. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- FERNANDES, L. A. Mapa litoestratigráfico da parte oriental da Bacia Bauru (PR, SP, MG), escala 1: 1.000. 000. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 55, 2004.
- FERNANDES, L. A.; BASILICI, G. Transition of ephemeral palustrine to aeolian deposits in a continental arid–semi-arid environment (Upper Cretaceous Bauru Basin, Brazil). **Cretaceous Research**, v. 30, n. 3, p. 605-614, 2009.
- FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. O Grupo Caiuá (Ks): revisão estratigráfica e contexto deposicional. **Brazilian Journal of Geology**, v. 24, n. 3, p. 164-176, 1994.
- FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. A Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 68, n. 2, p. 195-206, 1996.
- FERNANDES, L.A.; COIMBRA, A.M. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). **Brazilian Journal of Geology**, v. 30, n. 4, p. 717-728, 2000.
- FERNANDES, L. A.; RIBEIRO, C. M. M. Evolution and palaeoenvironment of the Bauru Basin (Upper Cretaceous, Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, v. 61, p. 71-90, 2015.
- FRITSCH, E. et al. From Plinthic Acrisols to Plinthosols and Gleysols: iron and groundwater dynamics in the tertiary sediments of the upper Amazon basin. **European journal of soil science**, v. 58, n. 5, p. 989-1006, 2007.
- HONG, H., *et al.* Red soils with white net-like veins and their climate significance in south China. **Geoderma**, v. 160, n. 2, p. 197-207, 2010.
- GRAVINA, E. G., *et al.* Proveniência de arenitos das formações Uberaba e Marília (Grupo Bauru) e do Garimpo do Bandeira: implicações para a controvérsia sobre a fonte do diamante do triângulo mineiro. **Brazilian Journal of Geology**, v. 32, n. 4, p. 545-558, 2008.
- KRONBERG, B. I.; MELFI, A. J. The geochemical evolution of lateritic terranes. **Zeitschrift fur Geomorphologie**, v. 64, p. 25-32, 1987.
- LIMA, S. do C.; QUEIROZ NETO, J. P. As veredas e a evolução do relevo. **Sociedade e Natureza**, v. 15, p. 481-488, 1996.
- MARQUES, J.J., *et al.* Major element geochemistry and geomorphic relationships in Brazilian Cerrado soils. **Geoderma**, v. 119, n. 3, p. 179-195, 2004.
- MELFI, A.J. 1997. Brazilian bauxite deposits: a review. *In*: Carvalho, A., Boulangé, B., Melfi, A.J. & Lucas, Y (Eds.). **Brazilian bauxites**. São Paulo-Paris, USP-FAPESP-ORSTOM, p. 03-22.
- MILANI, E., *et al.* Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da PETROBRÁS**, v. 15, n. 2, p. 265-287, 2007.
- MOTTA, P.E.F., *et al.* Relação solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 6, p. 869-878, 2002.
- NAHON, D. Evolution of iron crusts in tropical landscapes. **Rates of chemical weathering of rocks and minerals**, p. 169-191, 1986.
- NAHON, D. B. Self-organization in chemical lateritic weathering. **Geoderma**, v. 51, n. 1, p. 5-13, 1991.
- NAHON, D., *et al.* Mineralogy, petrography and structures of iron crusts (ferricretes) developed on sandstones in the western part of Senegal. **Geoderma**, v. 19, n. 4, p. 263-277, 1977.

- NAHON, D. B.; MELFI, A.J.; CONTE, C.N. 1989. Présence d'un vieux système de cuirasses ferrugineuses latéritiques en Amazonie du Sud. Sa transformation in situ en latosols sous la forêt équatoriale actuelle. **Comptes rendus de l'Académie des sciences**. Série 2, Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de l'univers, Sciences de la Terre, v. 308, n. 8, p. 755-760, 1989.
- NAVARRO, G. R. B.; ZANARDO, A.; DA CONCEIÇÃO, F. T. O Grupo Araxá na região sudoeste do Estado de Goiás. **Geologia USP. Série Científica**, v. 13, n. 2, p. 5-28, 2013.
- PESSENDA, L. C. R., *et al.* Late Pleistocene and Holocene vegetation changes in northeastern Brazil determined from carbon isotopes and charcoal records in soils. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 297, n. 3, p. 597-608, 2010.
- PETERSCHMITT, E., *et al.* Yellowing, bleaching and ferritisation processes in soil mantle of the Western Ghâts, South India. **Geoderma**, v. 74, n. 3, p. 235-253, 1996.
- PIERINI, C.; MIZUSAKI, A.M.P. Significados paleoambientais e paleoclimáticos dos paleossolos: uma revisão. **Pesquisas em Geociências**, v. 34, n. 1, p. 45-61, 2007.
- QUEIROZ, A. T. **Análise e avaliação da demanda e da disponibilidade hídrica nos alto e médio curso do Rio Uberabinha e o abastecimento público em Uberlândia (MG)**. 137 f. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geografia, UFU, Uberlândia, 2012.
- RADAMBRASIL, PROJETO. Programa de Integração Nacional. Levantamento dos recursos potencial naturais da terra, v. 31, Folha SE. 22, Goiânia: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso. **Rio de Janeiro: MA**, 1983.
- RIBEIRO, D.T.P. 2001. Diagênese das rochas do Membro Serra Da Galga, Formação Marília, Grupo Bauru (Cretáceo Da Bacia Do Paraná), na região de Uberaba, Minas Gerais. **Brazilian Journal of Geology**, v. 31, n. 1, p. 7-12, 2001.
- RIBEIRO, L. C. B., *et al.* (2012). Geoparque Uberaba–Terra dos Dinossauros do Basil (MG). **Shobbenhaus C Geoparques do Brasil–Propostas**, v. 1, p. 583-616, 2012.
- RIBEIRO, L. C. B.; DE SOUZA CARVALHO, I. **Peirópolis and Serra da Galga Site, Uberaba, State of Minas Gerais**. 2007.
- RICCOMINI, C. **Tectonismo gerador e deformador dos depósitos sedimentares pós-gondvânicos da porção centro-oriental do Estado de São Paulo e áreas vizinhas**. 1995. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- RICCOMINI, C. Arcabouço estrutural e aspectos do tectonismo gerador e deformador da Bacia Bauru no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 27, n. 2, p. 153-162, 1997.
- ROQUIN, C., *et al.* Lithodependence and homogenization of mineralogical and chemical composition of ferricretes. **Chemical Geology**, v. 84, n. 1-4, p. 124-127, 1990.
- ROSOLEN, V.; OLIVEIRA, D.A.; BUENO, G.T. 2014. Vereda and murundu wetlands and changes in brazilian environmental laws: challenges to conservation. **Wetlands Ecology and Management**, v. 23, n. 2, p. 285-292, 2014.
- SALGADO-LABOURIAU, M. L., *et al.* A dry climatic event during the late Quaternary of tropical Brazil. **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 99, n. 2, p. 115-129, 1998.
- SILVA, F. P. E.; KIANG, C. H.; CAETANO-CHANG, M. R. Estratigrafia de subsuperfície do Grupo Bauru (K) no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 35, n. 1, p. 77-88, 2005.
- SUGUIO, K. 1973. **Formação Bauru. Calcários e sedimentos detríticos associados**. São Paulo, 236p. Tese de Livre Docência, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 1973.

- SUGUIO, K.; BARCELLOS, J. S.; MONIZ, A. C. 1976. Caracterização sedimentológica e mineralógica de formações superficiais argilo-arenosas peculiares dos planaltos do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 29, 1976, Ouro Preto. *Anais...*, Ouro Preto, SBG, vol. 1, p. 241-247.
- STOOPS, G. **Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths**. Elsevier, 2010.
- TARDY, Y. **Pétrologie des latérites et des sols tropicaux**. 1993.
- TAVARES, C.P., *et al.* Levantamento da Geologia da Bacia Bauru (Cretáceo Superior) na Região Pontal do Triângulo Mineiro, Minas Gerais. **Horizonte Científico**, v. 6, n. 1, 2012.
- TROLARD, F., SOULIER, A., CURMI, P. Les forms solides du fer en milieu hydromorphe acide: une approche compartimentale par dissolution selective. **Comptes rendus de l'Académie des sciences**. Paris, v. 316, n 10, série 2, p. 1463-1468, 1993.
- VALADÃO, R. C. Geodinâmica de superfícies de aplanamento, desnudação continental e tectônica ativa como condicionantes da megageomorfologia do Brasil Oriental. **Anais do VII SINAGEO. Belo Horizonte**, 2009.
- VAN DER HAMMEN, T. Palaeoecology of the neotropics: an overview of the state of affairs. **Boletim IG-USP. Publicação Especial**, n. 8, p. 35-55, 1991.
- VEPRASKAS, M.J. 1992. Redoximorphic features for identifying aquic conditions. Technical Bulletin, North Carolina, North Carolina State University, USA, p. 301. 1992.
- ZAMBRANO, A. R. Minérios refratários—um estudo preliminar. **Grupo Votorantin, Cerâmica de Guarulhos SA**, 1981.