



CAMILA TAVARES PEREIRA

**PALEOSSOLOS DA FORMAÇÃO MARÍLIA NO MUNICÍPIO DE CAMPINA VERDE,
OESTE DE MINAS GERAIS**

CAMPINAS

2014



NÚMERO: 486/2014
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CAMILA TAVARES PEREIRA

**“PALEOSSOLOS DA FORMAÇÃO MARÍLIA NO MUNICÍPIO DE CAMPINA VERDE,
OESTE DE MINAS GERAIS”**

ORIENTADOR: PROF. DR. ALESSANDRO BATEZELLI

**DISSERTAÇÃO DE Mestrado APRESENTADA AO INSTITUTO DE
GEOCIÊNCIAS DA UNICAMP PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRA
EM GEOCIÊNCIAS NA ÁREA DE GEOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA
DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA CAMILA TAVARES
PEREIRA E ORIENTADA PELO PROF. DR. ALESSANDRO
BATEZELLI**

CAMPINAS
2014

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca do Instituto de Geociências
Cássia Raquel da Silva - CRB 8/5752

P414p Pereira, Camila Tavares, 1988-
Paleossolos da Formação Marília no Município de Campinas Verde, oeste de
Minas Gerais / Camila Tavares Pereira. – Campinas, SP : [s.n.], 2014.

Orientador: Alessandro Batezelli.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de
Geociências.

1. Solos - Formação. 2. Bacias (Geologia). 3. Geologia estratigrafica -
Cretáceo. I. Batezelli, Alessandro, 1972-. II. Universidade Estadual de Campinas.
Instituto de Geociências. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Marilia Formation paleosols of the city of Campinas Verde, West of
Minas Gerais

Palavras-chave em inglês:

Soil - Formation

Basins (Geology)

Stratigraphic geology - Cretaceous

Área de concentração: Geologia e Recursos Naturais

Titulação: Mestra em Geociências

Banca examinadora:

Alessandro Batezelli [Orientador]

Alfredo Borges de Campos

Mario Luis Assine

Data de defesa: 29-05-2014

Programa de Pós-Graduação: Geociências



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS NA
ÁREA DE GEOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

AUTORA: Camila Tavares Pereira

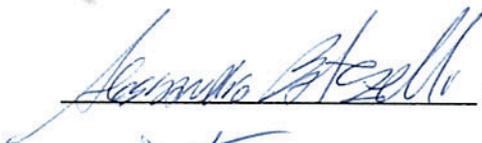
**PALEOSSOLOS DA FORMAÇÃO MARÍLIA NO MUNICÍPIO DE CAMPINA
VERDE, OESTE DE MINAS GERAIS**

ORIENTADOR: Prof. Dr. Alessandro Batezelli

Aprovada em: 29 / 05 / 2014

EXAMINADORES:

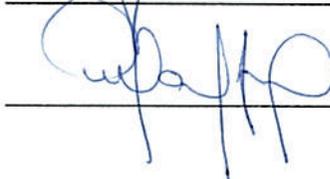
Prof. Dr. Alessandro Batezelli

 - Presidente

Prof. Dr. Alfredo Borges de Campos



Prof. Dr. Mario Luis Assine



Campinas, 29 de maio de 2014

SÚMULA CURRICULAR

Camila Tavares Pereira

Possui graduação em Geografia pela Universidade Federal de Uberlândia – UFU (2011). Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em bacias sedimentares e paleossolos. Atuou como monitora de disciplinas da graduação em Geografia pela UFU, incluindo Geologia, Climatologia I e Climatologia II. Atualmente está finalizando o mestrado na área de Geociências pela Universidade Estadual de Campinas com ênfase em estudos de paleossolos da Bacia Bauru no oeste de Minas Gerais, Formação Marília (Maastrichtiano). Atuou como avaliadora *ad hoc* da *Revista de Iniciação Científica* da UNESP, Campus de Marília. O trabalho lhe rendeu até o presente momento uma publicação em simpósio nacional (13º Simpósio de Geologia do Sudeste e 17º Simpósio de Geologia de Minas Gerais).

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Dr. Alessandro Batezelli, pela disposição, compreensão, paciência e todo o suporte acadêmico necessário para a realização desta pesquisa.

Às geógrafas, amigas, mais que especiais que tive a oportunidade de conhecer durante o mestrado, Flávia Mendes e Thiara Breda.

À turma do “corredor” da pós pelo companheirismo, conversas “fiadas” e prontidão: Paulo, Gustavo, Renan, Roberta, Diego, Fábio, Karla, Verônica, Sam, Julia, Tomás, Marco, Ulisses, e aos colombianos mais queridos Anderson e Juanita (saudades).

À equipe de Secretária de Pós – Graduação do Instituto de Geociências da UNICAMP: Val, Gorete, Rafael e Valdir, pela solicitude.

Aos meus pais e irmãos pelo apoio e respeito.

A todos que contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento deste trabalho, meu mais sincero e imenso “obrigado”.



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**PALEOSSOLOS DA FORMAÇÃO MARÍLIA NO MUNICÍPIO DE CAMPINA VERDE,
OESTE DE MINAS GERAIS**

RESUMO

Dissertação de Mestrado

Camila Tavares Pereira

A Formação Marília, que aflora no sudeste do Brasil, é uma sucessão sedimentar caracterizada por estratos sedimentares alternados com paleossolos. As feições pedogenéticas podem ser relacionadas com os fatores climáticos e são utilizadas como ferramenta na interpretação de paleoambientes. Através da descrição macro e microscópica, associada à análise mineralógica e fluorescência de raios-X, foram identificados e caracterizados 20 perfis de paleossolos da Formação Marília, Maastrichtiano da Bacia Bauru. A intercalação de horizontes C, Ck, Bt, Btk e Gley, possibilitou a elaboração de um modelo de evolução paleoambiental, no qual os dados geoquímicos permitiram tecer considerações paleoclimáticas. As mudanças nos processos de formação destes paleossolos foram impulsionadas principalmente pelas variações de umidade disponível. As estimativas de paleoprecipitação (MAP) obtidas por meio do CIA-K em horizontes Bt e Btk, indicam que a pluviosidade variou de 20-1000 mm/ano. Tais condições climáticas contrastantes resultaram na sobreposição de perfis distintos, sugerindo oscilação entre condições áridas a semiáridas. Estes resultados contribuem para um melhor entendimento paleoambiental do Cretáceo Tardio para a porção sudeste brasileira.

Palavras-chaves: Paleossolos; Bacia Bauru; Paleoclima; Maastrichtiano.



**UNIVERSITY OF CAMPINAS
INSTITUTE OF GEOSCIENCE**

**MARILIA FORMATION PALEOSOLS OF THE CITY OF CAMPINA VERDE, WEST OF
MINAS GERAIS**

ABSTRACT

Masters Degree

Camila Tavares Pereira

The Marília Formation is the Maastrichtian sequence of the Bauru Basin and crops out in southeastern Brazil. It is a sedimentary succession characterized by alternating sedimentary strata and paleosols. The pedogenic features can be related to climatic factors and are used as a tool in the interpretation of paleoenvironments. By means of a macro- and microscopic description, associated with mineralogical and x-ray fluorescence analyses, twenty paleosol sections were identified and characterized in the Marília Formation. The characterization of C, Ck, Bt, Btk and Gley horizons and the corresponding geochemical data helped define a paleoenvironmental evolutionary model and make some paleoclimatic considerations. Changes in the processes of formation of these paleosols were mainly triggered by moisture variations. Paleoprecipitation estimates (MAP) obtained by means of CIA-K in Bt and Btk horizons indicate that precipitation varied 20-1000 mm/year. These contrasting climatic conditions caused overlapping of distinct profiles, suggesting oscillation between arid to semi-arid conditions. These results contribute to a better understanding of the Upper Cretaceous paleoenvironment in southeastern Brazil.

Keywords: Paleosols, Bauru Basin, Paleoclimate, Maastrichtian.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA	3
3. MATERIAIS E MÉTODOS	4
4. ÁREA DE ESTUDO E ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	7
4.1 Bacia Bauru.....	7
4.2 Formação Marília.....	13
5. RESULTADOS.....	16
5.1 Macromorfologia dos Paleossolos da Formação Marília no Oeste de Minas Gerais.....	16
5.2 Micromorfologia dos Paleossolos.....	42
5.3 Mineralogia.....	51
5.4 Análise Química	53
5.5 Estimativas de paleoprecipitação.....	60
6. CONCLUSÃO	63
7. REFERÊNCIAS	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição da Bacia Bauru, no sudeste do Brasil e da área de estudo no estado de Minas Gerais. Fonte: Batezelli de 2010.	8
Figura 2 - Coluna cronoestratigráfica do Grupo Bauru no Triângulo Mineiro (MG) e áreas adjacentes no estado de São Paulo. Fonte: Batezelli, 2003.....	10
Figura 3 - Perfis de paleossolos empilhados da Formação Marília, no oeste de Minas Gerais.....	17
Figura 4 - Perfil 1 de paleossolo descrito na área de estudo.....	19
Figura 5 - Perfil 2 de paleossolo.	21
Figura 6 - Perfis 3, 4 e 5 de paleossolos empilhados descritos na área de estudo.	23
Figura 7 - Perfis 6, 7 e 8 de paleossolos empilhados na área de estudo.	25
Figura 8 - Perfil 9 de paleossolo.	26
Figura 9 - Perfil Gley de paleossolo descrito na área de estudo.	28
Figura 10 - Perfis 11, 12 e 13 de paleossolos empilhados descritos na área de estudo.	30
Figura 11 - Perfis de paleossolos empilhados encontrados na área de estudo (14 ao 20).	34
Figura 12 - Estruturas pedogenéticas. A e B) blocos angulares no horizonte Bt. C e D) estrutura maciça e laminar em C e Bk horizontes.	36
Figura 13 - A) Nódulos irregulares encontrados em horizontes Btk. B) Horizonte com calcrete pedogênico.	38
Figura 14 - A) Rizoconcreções preenchido com calcite; B) Krotovinas preenchidas com de areia vermelha.	39
Figura 15 - Iluvial ferriargilã encontrado em horizonte Bt, Perfil 1.	44
Figura 16 - Iluvial ferriargilã descrito em horizontes Bt, Perfil 6.....	46
Figura 17 - Iluvial ferriargilã descrito em horizontes Btk, Perfil 14.	48
Figura 18 - Iluvial ferriargilã descrito em horizonte Btk, Perfil 16.....	50
Figura 19 - Padrão de difração de raios-X de horizontes Bt (Perfis 1 e 6). Palygorskita é o mineral de argila dominante.	52

Figura 20 - Índices de alterações moleculares nos perfis de paleossolos da Formação Marília no oeste de Minas Gerais. 56

Figura 21 - Estimativas de paleoprecipitação calculadas em horizontes Bt e Btk. 61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Elementos maiores e traços para cada horizonte de paleossolos e reportadas em percentagem de óxido ou em ppm.	54
Tabela 2 - Índices de alteração moleculares dos paleossolos da Formação Marília na área de estudo.....	55

1. INTRODUÇÃO

Paleossolos são solos formados em condições atuantes no passado, preservados da erosão em superfícies antigas estáveis e recobertos por depósitos sedimentares (Retallack, 2001).

Os paleossolos se formam em períodos de não deposição, indicando estabilidade tectônica da área fonte ou processos geomorfológicos localizados, associados à dinâmica de canais, dunas, etc. Dessa forma, os paleossolos indicam pausas na sedimentação e exposição aos agentes intempéricos, os quais, de acordo com o grau evolutivo, podem corresponder a discordâncias estratigráficas de diferentes ordens.

As três feições mais importantes para distinção de paleossolos são: marcas de raízes, horizontes de solo e as estruturas de solo. As marcas de raízes são as feições mais diagnósticas, pois na falta de outras evidências, a sua presença já é suficiente para indicar sua formação, conforme Retallack (1988).

A partir de estudos paleopedológicos é possível tecer interpretações sobre a vegetação, forma do relevo e clima no período da formação, bem como, o intervalo de tempo entre depósitos e tipo de intemperismo da área.

As feições pedogenéticas podem ser quantitativamente relacionadas com os fatores climáticos e são utilizadas como ferramenta na interpretação de paleoambientes do Paleozóico ao Cenozóico (Retallack, 2001, 2007; Sheldon *et al.*, 2002; Sheldon, 2003, 2005; Sheldon e Tabor, 2009). Portanto, sucessões de paleossolos em sequências continentais podem registrar ciclos paleoclimáticos.

A Formação Marília, unidade litoestratigráfica de topo da Bacia Bauru (Cretáceo Superior do sudeste brasileiro), é caracterizada por uma sucessão de depósitos aluviais e eólicos intercalados com perfis de paleossolos. A identificação desses perfis já foi feita por vários autores (Suguio, 1973; Barcelos 1984; Fernandes, 1998; Goldberg e Garcia 2000), porém os estudos sistemáticos de caracterização com interpretações paleoambientais foi alvo de poucos trabalhos (*e.g.* Dal' Bó e Ladeira, 2006; Dal' Bó e Basilici, 2010; Basilici *et al.*, 2009).

Neste trabalho foi realizada a caracterização paleopedológica da Formação Marília, aflorada no estado de Minas Gerais, visando ao reconhecimento de perfis de paleossolos, características genéticas, e identificação de fatores paleoambientais a fim de elaborar o modelo evolutivo para a Formação Marília.

2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

A fim de contribuir para o melhor entendimento do paleoambiente da Bacia Bauru no oeste de Minas Gerais, a presente pesquisa tem como objetivo descrever perfis de paleossolos da Formação Marília na faixa de afloramentos na região de Campina Verde (MG) para elaborar um modelo de evolução paleoambiental. Os objetivos específicos são interdependentes e compreendem:

- O reconhecimento e descrição dos diferentes tipos/perfis de paleossolos;
- A definição das características macromorfológicas dos paleossolos da Formação Marília;
- A definição dos fatores ambientais que condicionaram os momentos de pedogênese.

O estudo paleopedológico com a finalidade de reconstrução paleoambiental é de suma importância, pois fornece registros representativos a respeito das condições ambientais vigentes nos locais de formação.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Revisão Bibliográfica

A primeira fase da pesquisa foi representada pelo estudo da bibliografia disponível que pudesse colaborar com a pesquisa. O levantamento bibliográfico teve por intuito: i) a atualização e o aprofundamento conceitual sobre paleossolos; ii) o estudo sobre as principais feições pedológicas iii) busca por caracterizações geológicas regionais e, iv) estudos de métodos e técnicas correntemente utilizadas em paleopedologia.

Trabalho de Campo

Em campo foi descrita uma seção de paleossolos empilhados, representantes das melhores áreas de exposição, as quais geralmente ocorrem em cortes de rodovias, barrancos de estradas vicinais formados sobre os patamares carbonatados da Formação Marília, que controlam efetivamente as topografias regionais.

Foram catalogados e identificados 20 perfis de paleossolos com base no reconhecimento de feições diagnósticas propostas por Retallack (2001), sendo estas: marcas de raízes, estruturas e horizontes de solo, e variações texturais entre os horizontes pedogenéticos. A caracterização incluiu a identificação dos horizontes e de suas espessuras e transições, cores (*MÜNSELL COLOR*, 1975), presença de bioturbação, estruturas e cimentação.

Adicionalmente às descrições de campo foram coletadas amostras representativas dos principais horizontes em cada perfil de paleossolos, para análises químicas e confecções de lâminas delgadas.

Análise Química

As amostras coletadas foram levadas ao Laboratório de Preparação de Amostras do Departamento de Geologia e Recursos Naturais no Instituto de Geociências da Unicamp para serem pulverizados em britadeira e passarem por moagem em moinho de bola ou, quando necessário, em moinho de anel. O material resultante foi submetido à perda ao fogo a 1000°C (PF%), resultando na confecção de discos de vidro com 1g de amostra para determinação de elementos menores e pastilhas prensadas com cera com 8g de amostra para determinação de elementos maiores. Tais pastilhas foram quimicamente analisadas por um espectrômetro de fluorescência de raios X Philips PW 2404 de fabricação holandesa no Laboratório de Geoquímica Analítica do Instituto de Geociências da Unicamp.

A determinação dos elementos químicos maiores é essencial na identificação dos processos genéticos que atuaram e dos ambientes geradores dos perfis, objetivando à realização de relações moleculares, mais especificamente para a identificação dos processos pedogenéticos de intemperismo, lixiviação, argilização e perda de base.

Micromorfologia dos Paleossolos

As amostras foram levadas ao Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia e Recursos Naturais no Instituto de Geociências da Unicamp, no qual foram cortadas, impregnadas com araldite, coladas em lâmina de vidro e polidas até a espessura de trinta micrômetros. Devido ao alto grau de desagregação das amostras, mesmo que em sua maior parte cimentadas por carbonato de cálcio, essas foram impregnadas com resina de poliéster, promovendo o endurecimento do material por polimerização, viabilizando, desta forma, a confecção das lâminas sem perda significativa de material.

A descrição micromorfológica foi feita de acordo com os procedimentos contidos em Castro (2008) utilizando lupa binocular e microscópio ótico petrográfico com aumentos de 2,5x, 3,2x, 10x e 20x, luz normal e polarizada a fim de se obter os

constituintes e a organização dos poros, plasma e esqueleto e fazer o reconhecimento das feições pedológicas que caracterizam os horizontes B texturais.

Difratometria de Raios – X

As amostras foram analisadas por difração de raios - X, pelo método do pó, no Instituto de Geociências da UNICAMP. Foi utilizado um difratômetro de raios - X fabricado pela Bruker, modelo D2 Phaser, equipado com goniômetro de varredura vertical e tubo de cobre de 400 W de potência (λ CuK α = 1.5406 Å), usando uma geometria de Bragg–Brentano no modo contínuo com uma velocidade de varredura de 0.25°/min, tendo como sistema de detecção um detector rápido também fabricado pela Bruker, modelo LynxEye. A tensão e a corrente foram, respectivamente, ajustadas para 30 kV e 10 mA. Os difratogramas foram obtidos para um intervalo de exposição de 8° a 65° (2 θ), com passos de 0,02°. As fases cristalinas foram identificadas usando o catálogo do Centro internacional para dados de difração, PDF-2 (International Center for Diffraction Data, ICDD) .

4. ÁREA DE ESTUDO E ASPECTOS GEOLÓGICOS

4.1 Bacia Bauru

Constituída predominantemente por depósitos siliciclásticos continentais, a Bacia Bauru (Figura 1) possui formato aproximadamente elítico alongado na direção norte/nordeste (Batezelli, 2003). Ocupando uma área de aproximadamente 330.000 Km², esses depósitos distribuem-se no centro-oeste do estado de São Paulo, nordeste do Mato Grosso do Sul, sudeste do Mato Grosso, sul de Goiás e oeste de Minas Gerais (*op cit*). A Bacia Bauru se desenvolveu no Cretáceo Superior na pós-ruptura do continente gondwânico, seu preenchimento ocorreu em clima com variações entre semi-árido e árido, entre o Campaniano e o Maastrichtiano, sendo este intervalo de tempo definido com base na idade de fósseis de vertebrados por Santucci e Bertini, 2001 (Batezelli, 2010).

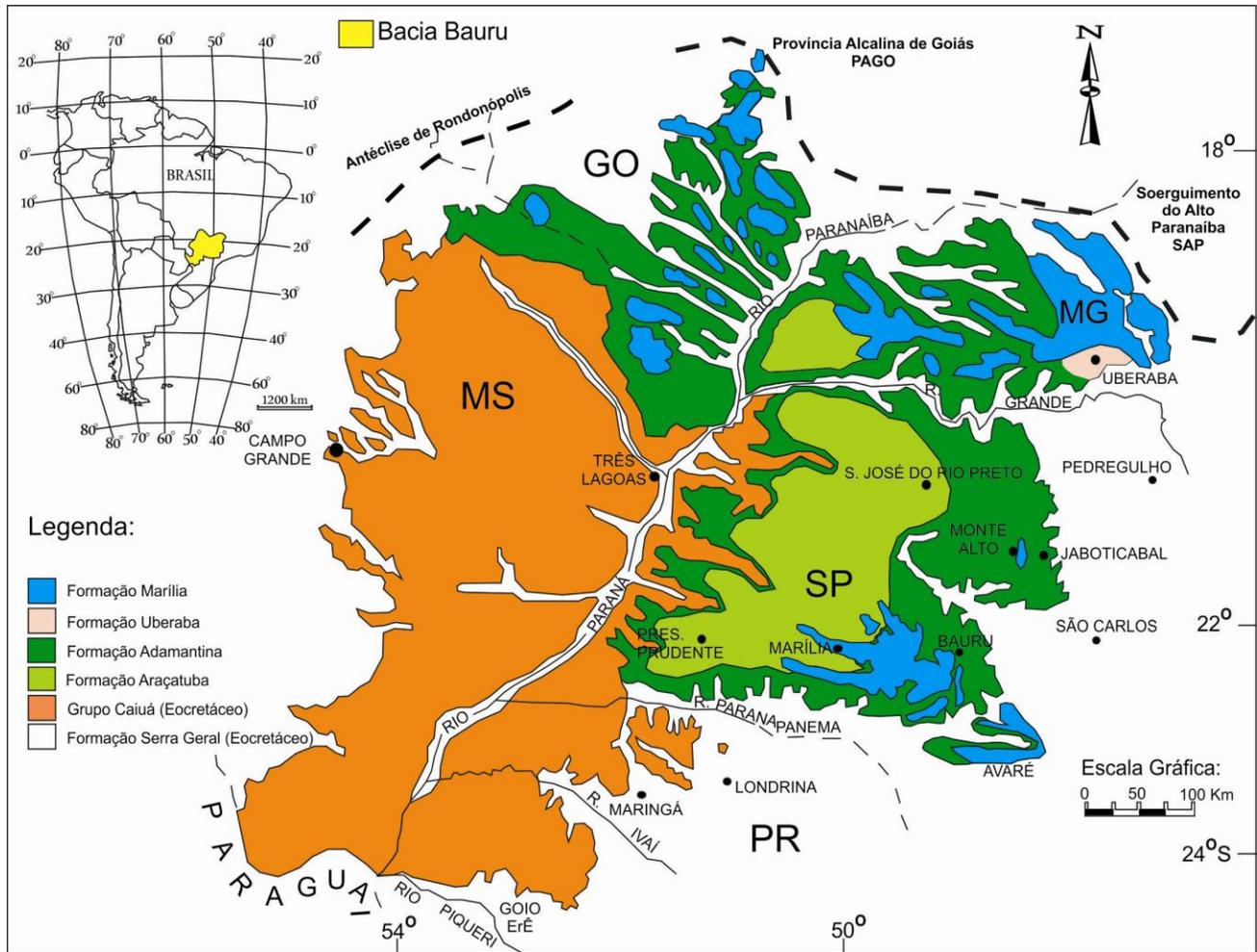


Figura 1- Distribuição da Bacia Bauru, no sudeste do Brasil e da área de estudo no estado de Minas Gerais. Fonte: Batezelli de 2010.

A Bacia Bauru possui seu depocentro situado acima da área com maior espessura de basaltos da Formação Serra Geral (Bacia do Paraná), motivo pelo qual a subsidência tem sido interpretada como produto de reajustes flexurais negativos da litosfera, ocorridos após a acomodação e resfriamento dos basaltos, em resposta à retração do soerguimento crustal e arrefecimento de seu substrato basáltico (Riccomini, 1995, 1997).

No oeste de Minas Gerais, a Bacia Bauru é constituída pelo Grupo Bauru (Figura 2), o qual é subdividido nas seguintes unidades litoestratigráficas, de acordo com Batezelli (2003): Formação Araçatuba, Adamantina, Uberaba e Marília, sendo a última subdividida nos seguintes membros: Ponte Alta, Serra da Galga e Echaporã (Barcelos, 1984).

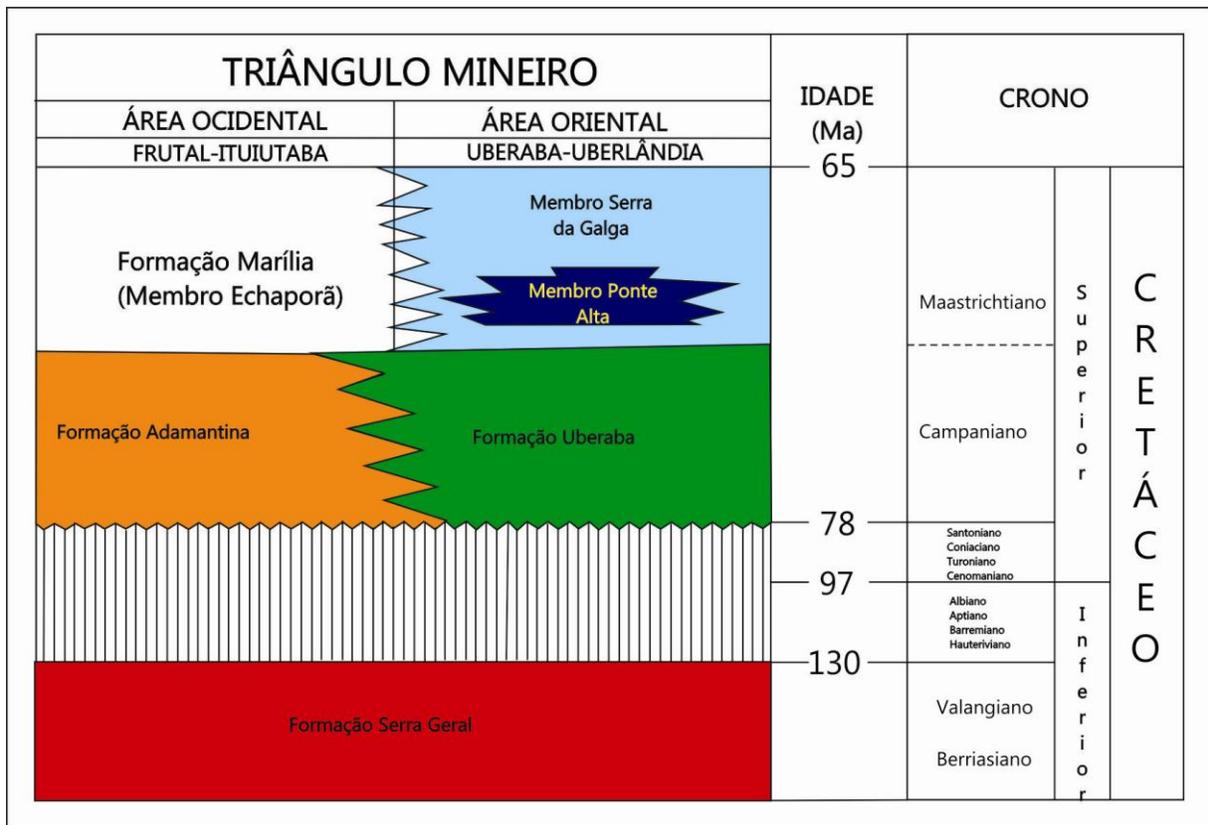


Figura 2- Coluna cronoestratigráfica do Grupo Bauru no Triângulo Mineiro (MG) e áreas adjacentes no estado de São Paulo. Fonte: Batezelli, 2003.

Os estudos geológicos desta unidade cretácea foram iniciados no final do século XIX com a descoberta de paleoaluviões diamantíferos em sedimentos pós-basálticos no Alto Paranaíba em 1864 (Barbosa *et al.*, 1970). Trabalhos realizados por Gonzaga de Campos (1891) e Hussak (1891 e 1894) investigaram a mineralogia e litologia dos jazimentos diamantíferos de Água Suja (atual Romaria). Na região de Uberaba, estudos paleontológicos foram iniciados por Price (1945, 1950a, 1950b, 1953 e 1955) que descobriu importantes fósseis de dinossauros, crocodilos e quelônios. O primeiro mapa geológico do Triângulo Mineiro e de parte do Alto Paranaíba elaborado por Hasui (1967, 1969) apresenta a estratigrafia do que hoje é o Grupo Bauru. Posteriormente a este mapa, houve trabalhos apresentados por Barbosa *et al.*, (1970), Sad *et al.*, (1971) e Ladeira *et al.*, (1971) caracterizando as unidades cretáceas no oeste mineiro.

Na década de 80, os trabalhos sobre as sequências cretáceas do Triângulo Mineiro tinham como objeto de estudos os problemas estratigráficos e de correlação com rochas no estado de São Paulo. Barcelos *et al.*, (1981), Suguio (1980), Almeida *et al.*, (1981) e Barcelos *et al.*, (1987) estabeleceram, então, a relação entre o Grupo Bauru no Triângulo Mineiro com rochas sedimentares do estado de São Paulo, onde a Formação Uberaba seria, em parte, correlacionada litoestratigraficamente à Formação Adamantina (Ferreira Júnior, 1996).

Importantes estudos foram realizados com ênfase na caracterização faciológica de sistemas deposicionais e processos diagenéticos no Triângulo Mineiro, entre estes trabalhos podem ser destacados os de Garrido *et al.*, (1992), Silva *et al.*, (1994), Ferreira Júnior e Guerra (1993), Goldberg (1995), Goldberg e Garcia (1994), Ribeiro e Gomes (1996).

No início dos anos 2000, trabalhos regionais no oeste de Minas Gerais apresentaram dados faciológicos de superfície e subsuperfície, permitindo uma melhor compreensão do arcabouço estratigráfico e da paleogeografia da Bacia Bauru, com destaque para Fernandes e Coimbra (2000) e Batezelli (2003; 2010).

Recentemente, houve também a contribuição de trabalhos e pesquisas para a evolução paleoambiental da Bacia Bauru, destacando-se os estudos de considerações paleoclimáticas, os quais utilizam da relação entre depósitos e paleossolos, tais como

Dal'Bó e Ladeira (2006), Dal'Bó *et al.*, (2009), Fernandes e Basilici (2009), Fernandes (2010), e Dal'Bó e Basilici (2011).

4.2 Formação Marília

A Formação Marília foi designada por Almeida e Barbosa (1953), enquanto estudavam a então Série Bauru no estado de São Paulo. E, até a formalização estratigráfica como Formação Marília (Soares *et al.*, 1980), esta unidade recebeu diversas denominações informais: fácies calco-conglomerática, fácies C, litofácies Marília, Membro Superior, fácies Marília e Unidade Superior (IPT, 1981).

De acordo com Soares *et al.*, (1980), a Formação Marília seria caracterizada em superfície como

[...] Unidade composta por arenitos de grosseiros [*sic*] a conglomeráticos, com grãos angulosos, teor de matriz variável, seleção pobre, ricos em feldspatos, minerais pesados e minerais instáveis; ocorrem em bancos com espessura média entre 1 e 2 m, maciços ou com acamamento incipiente subparalelo e descontínuo, raramente apresentando estratificação cruzada de médio porte com seixos concentrados nos estratos cruzados; raras camadas descontínuas de lamitos vermelho e calcário são encontradas (Soares *et al.*, 1980, p. 182).

A Formação Marília foi datada de Maastrichtiano com base em vertebrados fósseis (Santucci e Bertini, 2001) e dados micropaleontológicos (Dias-Brito *et al.*, 2001; Gobbo-Rodrigues, *et al.*, 2001).

Barcelos (1984) subdividiu esta formação em três membros: Ponte Alta, Serra da Galga e Echaporã. Os dois primeiros afloram na parte leste do Triângulo Mineiro (MG), enquanto que o Membro Echaporã está presente na porção oeste. Segundo Barcelos (*op cit*), os afloramentos da Formação Marília, na área do Triângulo Mineiro, ocorrem nas porções topograficamente mais elevadas dos interflúvios, com maior expressão antes os municípios de Uberaba e Prata.

Segundo Barcelos (1993) e Barcelos & Suguio (1987), o Membro Ponte Alta é “constituído de calcários, formados provavelmente em lagos tipo (playa lakes), passando lateral e verticalmente a vários tipos de calcretes. A localidade-tipo é representada na região Ponte Alta (MG) próxima a Uberaba”. Na base do Membro Ponte Alta ocorre um nível conglomerático com espessura até decamétricas, conhecido popularmente por “casco de burro”. Os seixos chegam a ter diâmetros dessimétricos,

tem formas arredondadas, são de quartzo, quartzitos, arenitos e pelitos e estão cimentados por calcita (Ferreira Júnior, 1996).

De acordo com Barcelos & Suguio (1987, p. 317), o Membro Ponte Alta é caracterizado por importantes depósitos carbonáticos que, segundo Barbosa *et al* (1970), ocorreriam em área superior a 120km² na região de Ponte Alta. Porém, as ocorrências desses calcários parecem estender-se por aproximadamente 15km ao norte de Sacramento até Frutal, passando por Uberaba. No percurso rumo a Iturama, Campina Verde, Ituiutaba e Santa Vitória, encontram-se pontos de sustentação dos divisores dos principais rios da região.

O Membro Serra da Galga ocorre no Triângulo Mineiro é constituído [...] por arenitos imaturos e conglomerados, superpostos aos níveis carbonáticos do Membro Ponte Alta. Nos conglomerados predominam seixos de quartzitos, quartzo, calcedônia, rochas ígneas básicas, calcário e argilitos, cujos diâmetros maiores chegam a atingir 10 cm (Barcelos, 1984).

Os depósitos desse membro representam a cobertura dos topos aplainados (cerrados), os quais são insulados pelos rios Grande, Paranaíba e Araguari (Barcelos *et al.*, 1981). Os calcários dos membros Ponte Alta e Serra da Galga estão interdigitados, feição esta que pode ser observada na BR-050 (Uberaba - Uberlândia), no km 45 (Barcelos, 1993).

A Formação Marília, aflorante na região oeste do Triângulo Mineiro, é representada pelo Membro Echaporã (Barcelos, 1984). Na região, essa unidade é composta por arenitos finos a grossos, com intercalações conglomeráticas, na forma de ciclos granodecrescentes e granocrescentes, cimentados por carbonato de cálcio. Por esse motivo, a área em questão, também apresenta relevo de serras, em forma de grandes chapadas.

Em relação aos estudos de Fernandes & Coimbra (2000) no Triângulo Mineiro, o Membro Echaporã aparece como seção representativa no município de Campina Verde, sendo constituído.

[...] de arenitos finos a médios, imaturos, com frações grossas e grânulos em quantidades subordinadas, sobretudo nas zonas marginais da bacia. Formam estratos de aspecto maciço, de cores bege a rosa (pálidas) características, com cimentação e nódulos carbonáticos. Poucas vezes, exibem estratificação cruzada, de médio porte.

5. RESULTADOS

5. 1 Macromorfologia dos Paleossolos da Formação Marília no Oeste de Minas Gerais

Uma seção de paleossolos empilhados de 43 metros de espessura, referente à Formação Marília no oeste de Minas Gerais, vem representada na Figura 3; enquanto que as descrições morfológicas dos perfis de paleossolos estão resumidas no subitem “**Caracterização macromorfológica**” e detalhadas por horizontes no subitem “**Descrição morfológica dos perfis**”, com informações obtidas mediante observações de campo.

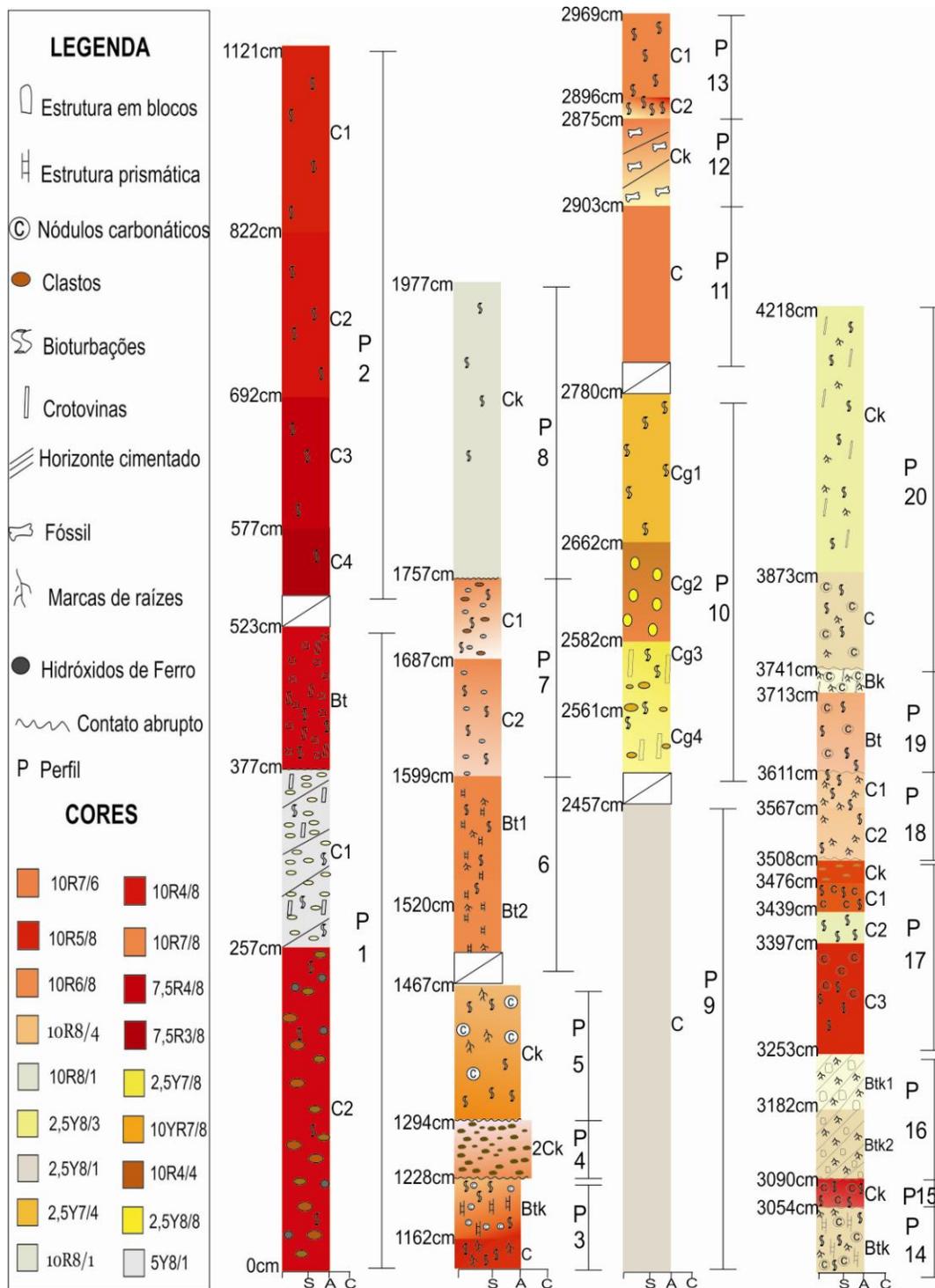


Figura 3 - Perfis de paleossolos empilhados da Formação Marília, no oeste de Minas Gerais.

Descrição morfológica dos Perfis

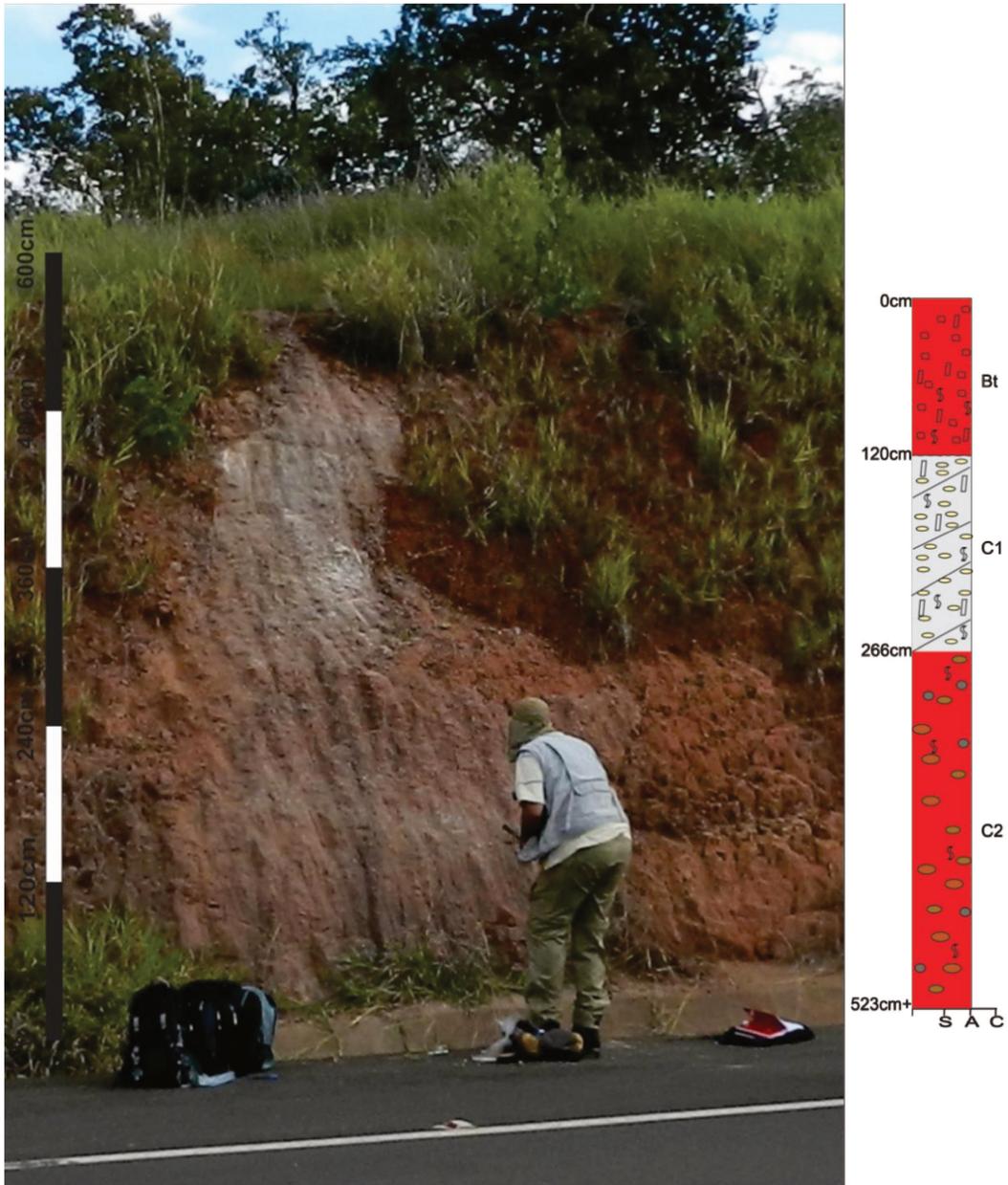
As propriedades morfológicas detalhadas de todos os perfis de paleossolos encontrados em campo, da base ao topo da seção, estão representadas nas Figuras 4 a 11.

Perfil 1

Horizonte Bt. 0-120 cm, vermelho 10R4/8, 10R6/8 e películas branco rosado 10R8/2; arenosa; blocos angulares grandes; abundância de bioturbação, porosidade na forma de canais, na dimensão de 4 mm a 15 mm, preenchidas 7,5R3/4 e raramente 7,5R3/4, preenchimento mais fino (crotovinas); nódulos frequentes, de 4 mm a 21 mm, duros esféricos, tubulares (rizoconcreções), cor predominante 7,5YR6/8 e 7,5 YR8/1, fortemente reagível ao HCl; abrupta e plana.

Ck. 120-266 cm, coloração 5Y8/1, no entorno dos poros 2,5YR7/8, no preenchimento de crotovinas 7,5R3/6; arenosa; maciça; bioturbação comum de 2 mm a 4 mm, preenchida por material mais fino, no seu entorno sempre a cor vermelha; horizonte carbonático fortemente reagível, em estágio três; glébulas de 8mm a 25mm, esféricas, comuns, brancas carbonáticas; plana e gradual.

C2. 266-523 cm, mosqueado 5R4/8, 5R6/8, 5R8/2, 7,5R4/8; arenosa; maciça; bioturbação rara de 7 mm, preenchida e cimentada por carbonato de cálcio, preenchimento mais grosseiro; ocorrência de rizoconcreções e níveis bem marcados com abundantes clastos intraformacionais; nódulos de 4mm a 1 cm formados de hidróxidos de ferro e desenvolvimento *in situ* de alguns nódulos; a maior parte do horizonte não se mostrou reagível ao HCl.



LEGENDA

- Estrutura em blocos ⚡ Bioturbações ● Hidróxidos de Ferro ○ Halos Glebulares
- ⚡ Marcas de raízes || Crotovinas ● Clastos // Horizonte cimentado
- 5Y8/1 □ 5R8/2 □ 5R6/8 □ 10R4/8 □ 7,5R4/8

Figura 4 - Perfil 1 de paleossolo descrito na área de estudo.

Perfil 2

C1. 0-130 cm; 10R5/8; arenoso; maciço; alguns grãos de quartzo pesquisados não apresentam *coating* de ferro; bioturbação abundante com 2 mm de espessura, preenchida por material de coloração 7,5R/8; plana e difusa.

C2. 130-260 cm; 10R4/8 e crotovinas 7,5YR8/6; arenosa; maciça; bioturbação intensa, mais que o horizonte superior, com espessura de 2 mm a 6 mm, preenchida com material mais grosseiro, com areia lavada; plana e difusa.

C3. 260-375 cm; 7,5R4/8, mosqueados comuns 7,5R7/8; bioturbação abundante, com as mesmas características que o horizonte superior; plana e difusa.

C4. 375-429 cm+; 7,5R3/8; arenosa; maciça; bioturbações em menor quantidade 7,5YR8/2, variando de 2 mm a 4 mm e com halos de oxirredução; a partir de 420cm nota-se o início de um horizonte mosqueado, friável de tamanhos milimétricos a um centímetro, com coloração 2,5Y6/6.



LEGENDA

§ Bioturbações

■ 10R5/8 ■ 10R4/8 ■ 7,5R4/8 ■ 7,5R3/8

Figura 5 - Perfil 2 de paleossolo.

Perfis 3, 4 e 5

Ck. 0-150 cm; cores variegadas 2,5YR8/4, 2,5YR6/6, 7,5YR6/8; arenosa; maciça; bioturbação intensa de 3 mm a 6 mm, preenchida por material arenoso e cimentado por carbonato de cálcio; eventualmente existem halos de oxirredução e, ao entrarem em contato com a parede do poro, ocorrem concentrações de carbonato de cálcio formando um calcã; presença de nódulos esféricos, mas, predominantemente tubulares, correspondentes a rizoconcreções, com espessuras variando de 0,5cm a 1cm; constatação da existência de clastos de quartzo de 0,8cm; transição abrupta e plana.

2Ck. 150-216 cm; 5YR8/1, 10R7/6 e clastos intraformacionais 10YR3/4; conglomerático com matriz arenosa; maciço; sem bioturbação; clastos intraformacionais de 4 mm a 29 mm e clastos de quartzo de 5 a 15 mm; transição abrupta e plana.

3Btk. 216-282 cm; 10R8/4, 10R5/8, com cutãs 10R8/1; arenosa; prismática grande e forte; abundância de bioturbação de 0,3 a 0,8 cm preenchidas por areia formando rizoconcreções; nódulos abundantes, brancos carbonáticos, alguns esféricos de até 1 cm; cutãs abundantes de carbonato; transição plana e gradual.

3C. 282-323 cm+; cores variegadas 10R5/8, 10R6/8, 10R8/1, 10R8/3 e 2,5Y6/8 sendo esta cor também dos cutãs; arenoso; maciço; grande quantidade de bioturbação de 2 mm a 7 mm, preenchida por areia vermelha, não calcificadas, em algumas delas percebe-se um avanço para o lamito inferior; raízes associadas a halos de redução; clara e plana com o lamito.



LEGENDA

- | | | |
|------------------------|------------------------|--------|
| Ⓢ Nódulos carbonáticos | ● Clastos | |
| λ Marcas de raízes | H Estrutura prismática | |
| 10R8/4 | 10R8/1 | 10R6/8 |
| 10R7/6 | 10R5/8 | |

Figura 6 - Perfis 3, 4 e 5 de paleossolos empilhados descritos na área de estudo.

Perfis 6, 7 e 8

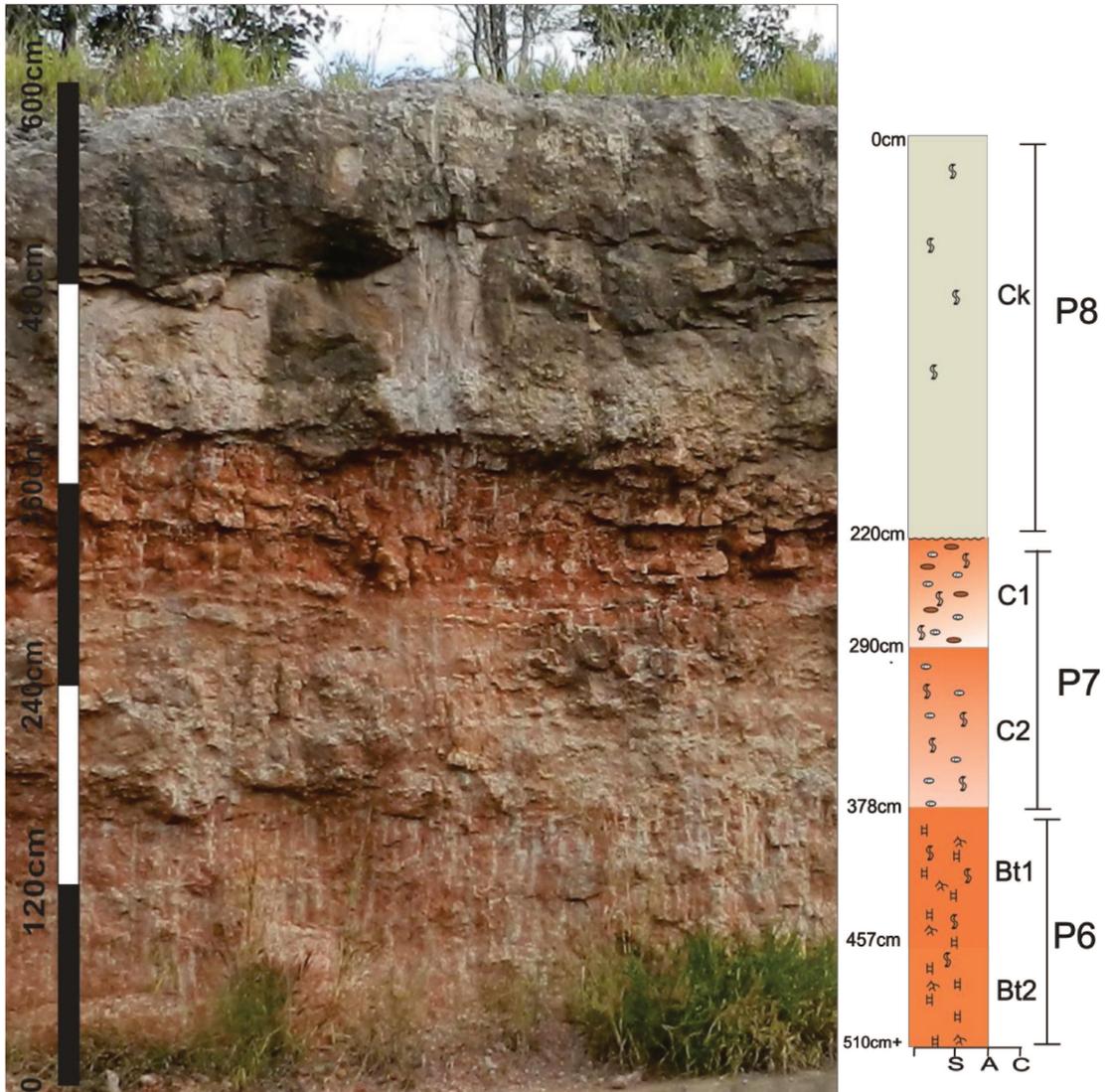
Ck. 0-220/260 cm; cores variegadas 10R8/4, 10R8/1 com clastos 10YR8/6; arenoso; maciço; raríssima bioturbação, milimétrica, preenchida por areia; presença de porosidades fissurais preenchidas por calcita, espessura inferior a 1 mm; não são observados nódulos carbonáticos; transição abrupta e ondulada, correspondente à base de um canal.

C1. 220/260-290 cm. Trata-se de um depósito que ainda guarda feições sedimentares, seu interior apresenta clastos intraformacionais carbonáticos de quartzo, onde se torna possível verificar a pedogênese destruindo as estruturas sedimentares. Cores variegadas 10R5/8, 10R7/8, 10R8/1, e clastos intraformacionais 2,5Y6/8; arenoso; maciço; bioturbação comum, preenchida por areia com halos de redução de 5 mm a 8mm; plana e gradual. Obs. Apenas os nódulos intraclastos reagem ao HCl.

C2. 290-378 cm; 10R7/8, com porções esbranquiçadas 10R8/1 e nódulos 2,5Y6/8; arenoso; maciço; bioturbações comuns iguais ao horizonte superior; nódulos comuns, esféricos, carbonáticos; clara e plana. Obs. A matriz não reage ao HCl.

Bt1. 378-457 cm; 10R6/8 e halos de redução 10R8/2; arenosa; prismática grande e forte; bioturbação abundante, maior quantidade que o horizonte superior; marcas de raízes verticais, sempre associadas a halos de 3 mm a 8 mm; ramificações ora preenchidas com material arenoso vermelho, ora matéria arenoso ocre; transição plana e gradual. Obs. Nota-se a presença cavidades provavelmente de insetos preenchida por areia de cor 10YR5/8, com formas irregulares que chegam a 5 cm. Obs. Matriz não reativa ao HCl, apenas os nódulos.

Bt2. 457-510 cm+; 10R6/8 e halos de redução 10R8/1; prismática grande moderada; características semelhantes ao horizonte superior; observação da incidência de películas ao longo de fissuras, extremamente reativas ao HCl.



LEGENDA

- | | | |
|------------------------|------------------------|--------|
| © Nódulos carbonáticos | ● Clastos | 10R7/6 |
| λ Marcas de raízes | H Estrutura prismática | 10R5/8 |
| 10R8/4 | 10R8/1 | 10R6/8 |

Figura 7 - Perfis 6, 7 e 8 de paleossolos empilhados na área de estudo.

Perfil 9

C. 0-740 cm, coloração 2,5Y8/1 com nódulos 10YR7/8 e 10YR4/6 e 10R4/6; arenoso maciço; rara bioturbação, milimétrica, preenchida por areia vermelha e calcita; fortemente cimentada com cimento carbonático.



LEGENDA

■ 2,5Y8/1

Figura 8 - Perfil 9 de paleossolo.

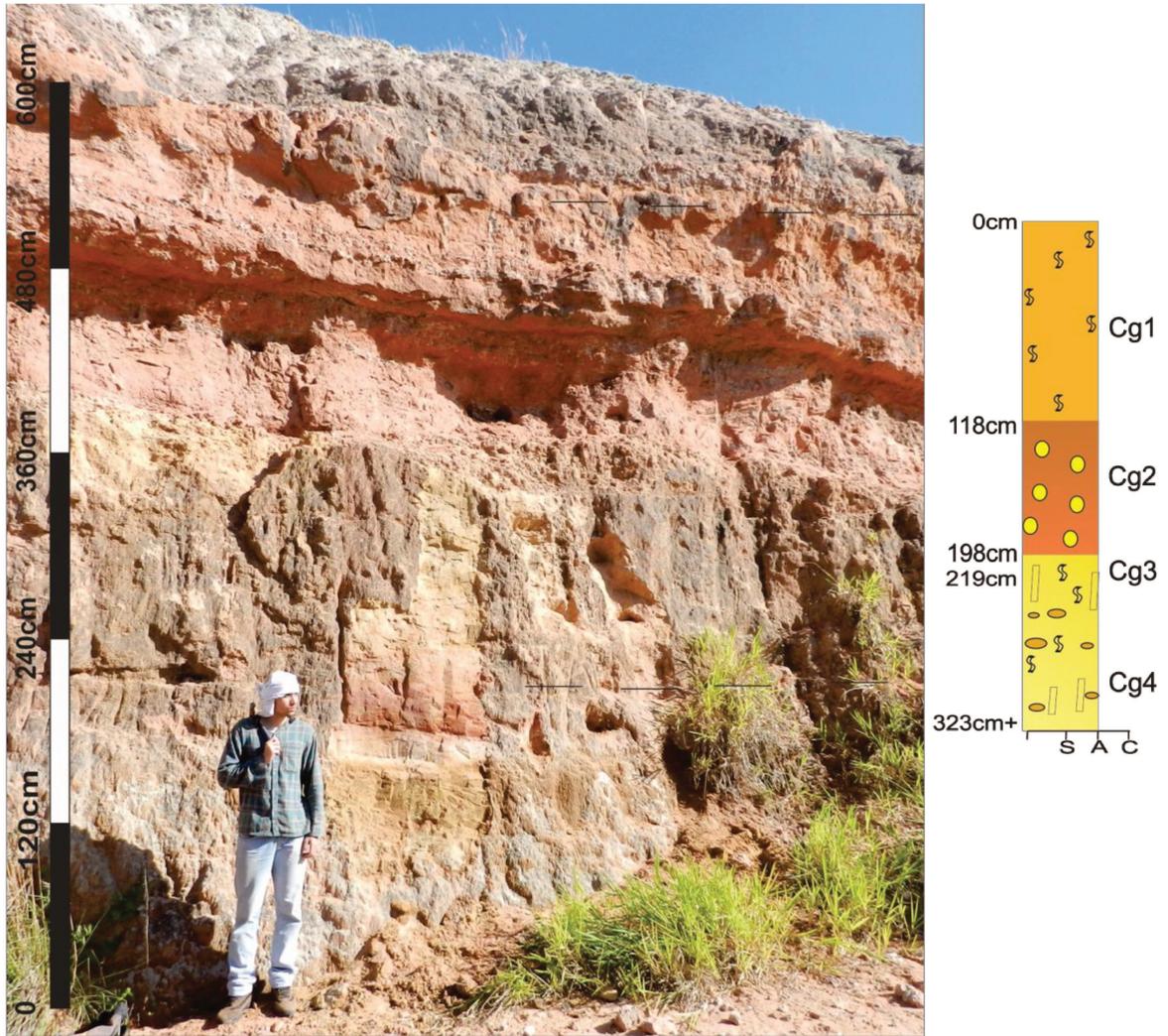
Perfil 10

Cg1. 0-118 cm; mosqueamento 2,5Y8/8; 2,5Y7/4; 10YR7/8 e 10R5/8; arenoso; maciço; bioturbação abundante, milimétrica com preenchimento vermelho; plana e difusa. Obs. Constata-se a existência de bioturbação com halos de redução e no centro da porosidade aparecem cores negras.

Cg2. 118 cm-198 cm; mosqueado 10R7/8, 10R4/8 e 10R4/4; e nódulos 2,5Y6/8; arenoso, mais grosseiro que o horizonte superior; maciço; porosidade abundante com halos de redução de 3 mm a 8 mm, com preenchimento ocre; nódulos concentrados em alguns níveis de 4 mm a 1 cm, friáveis não reagíveis ao HCl; clara e plana.

Cg3. 198-219 cm; 2,5Y8/1, mosqueados 2,5Y7/8 e 10R8/4; arenoso; maciço; raras bioturbações de 3 mm a 8 mm; ausência de nódulos; clara e plana.

Cg4. 219-323 cm; mosqueado 2,5Y7/8 e 2,5Y8/3; nódulos intemperizados 2,5YR4/6; preenchimento das crotovinas 10R4/8; arenoargiloso na matriz; e arenoso nos preenchimentos das crotovinas; vários pontos negros; bioturbação abundante com halos de redução de 3 mm a 1 cm, provavelmente associados a uma pedogênese antecedente ao depósito superior; nódulos alterados abundantes de 3 mm a 15 mm, coloração ocre.



LEGENDA

⌘ Bioturbações	⌘ Marcas de raízes	⌘ Crotovinas	● Clastos
■ 2,5Y8/8	■ 10YR7/8	■ 10R5/8	■ 2,5Y7/4
■ 10R4/8	■ 10R4/4	■ 2,5Y7/8	■ 10R7/8
		■ 2,5Y8/1	■ 2,5Y8/3

Figura 9 - Perfil Gley de paleossolo descrito na área de estudo.

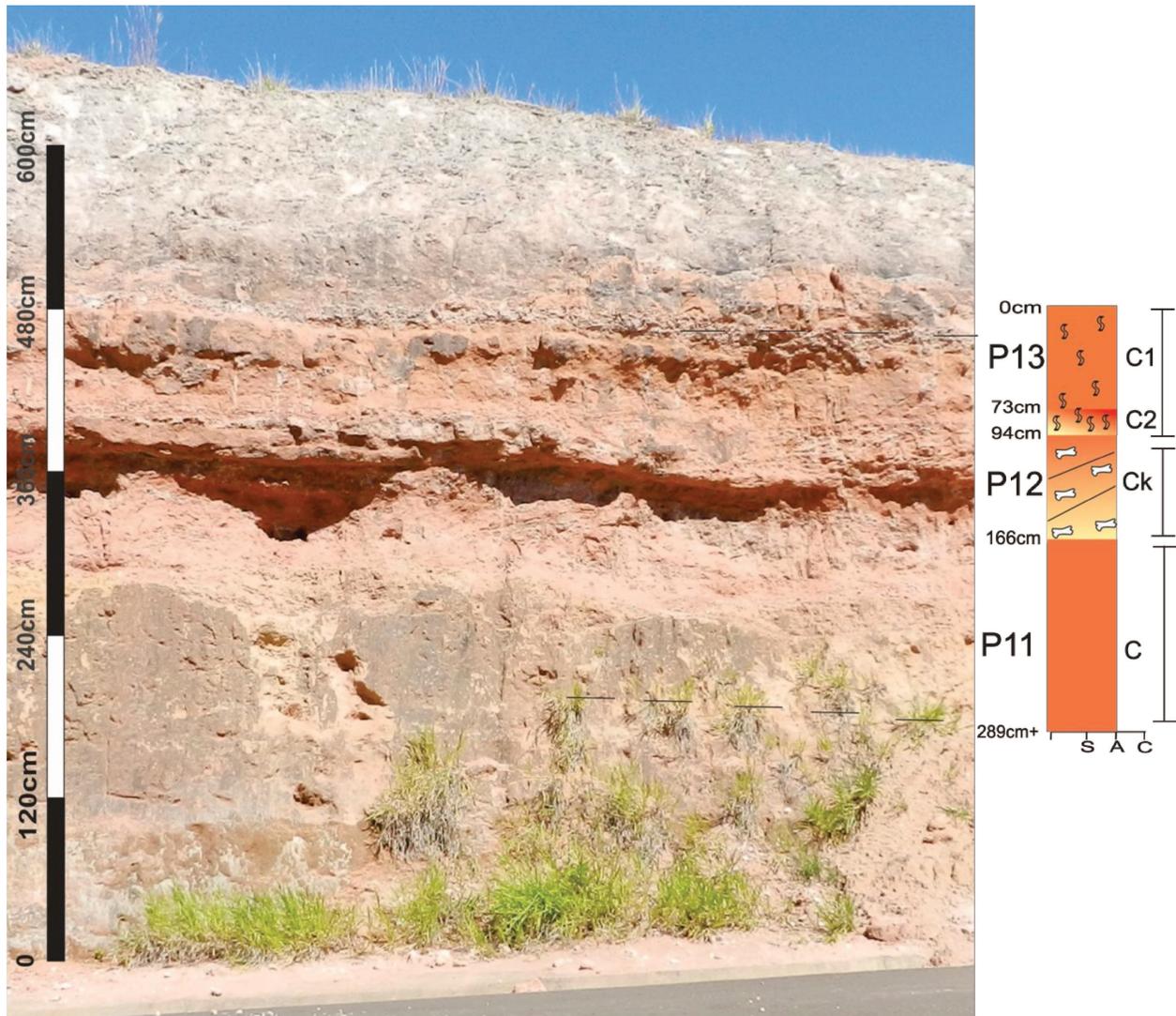
Perfis 11, 12 e 13

C1. 0-73 cm; 10R7/8; arenoso; maciço; com raras bioturbações de 3 mm, preenchidas por areia; muito friável; não reagível ao HCl; clara e plana.

C2. 73-94 cm; coloração 10R4/8, com porções brancas associadas à bioturbação 10R8/1; arenoso; maciço; abundante bioturbação 3 mm a 8 mm, com halos de redução levemente reagíveis ao HCl; clara e plana.

Ck. 94-166 cm; 10R7/6, com cores brancas 10R8/1 e amarelas 2,5Y6/8, associado à bioturbação; arenoso; maciço; fortemente cimentado por carbonato e reagível ao HCl; correspondente ao nível carbonático; horizonte carbonático com restos fósseis; plana e gradual.

C. 166-289 cm+; 10R7/6; arenoso; maciço; sem bioturbação; sem feições pedogenéticas; não reagível ao HCl.



LEGENDA

- Fóssil Bioturbações Marcas de raízes Horizonte cimentado
 10R7/8 10R7/6 10R8/1 10R4/8

Figura 10 - Perfis 11, 12 e 13 de paleossolos empilhados descritos na área de estudo.

Perfis 14 a 20

Ck. 0–345 cm; amarelo – claro - acinzentado e películas branco-rosadas; arenoso; maciço; muito duro; abundância de bioturbação vermelho-claro e vermelho reagível ao HC, as quais, quando estão na superfície, ficam realçadas sendo rizoconcreções; presença de clastos isolados de quartzo de até 3 cm; crotovinas vão de 4-8 mm; existência de fissuras preenchidas por calcita; reagível ao HCl; clara e plana.

C. 345–477 cm; predominantemente vermelho - claro e vermelho - claro - acinzentado com manchas brancas e branco-rosado; arenoso; maciço; muito duro; bioturbação com as mesmas características do horizonte anterior; os nódulos e rizoconcreções sofrem significativa diminuição; fortemente reagível ao HCl; plana e abrupta.

Bk. 477–505 cm; horizonte branco; arenoso; maciço; muito duro; abundância de marcas de raízes preenchidas por material vermelho claro que variam de 3 mm – 10 mm; forte concentração de nódulos carbonáticos; crotovinas de 4 – 8 mm vermelho escuro, raras delas com halos brancos; gradual e plana.

Bt. 505–607; vermelho-claro com algumas manchas brancas; arenosa; prismática grande a média; fraca; muitas bioturbações que sofrem diminuição em uma profundidade de 3 – 8 mm preenchida por material vermelho-claro; halos de redução em todas elas; raras bioturbações continuam para o horizonte inferior; nódulos carbonáticos que são rizoconcreções diminuem fortemente se comparados ao horizonte superior; não reagível ao HCl; plana e abrupta.

C1. 607–651 cm; matriz vermelho claro com abundância de manchas branca e branco-rosado; arenoso; maciço; duro; abundante bioturbação vermelho - claro de 3 - 10 mm, normalmente cimentada por CaCO₃ formando rizoconcreções; reagível ao HCl; plana e gradual.

C2. 601-710; horizonte vermelho e vermelho-claro; arenoso; maciço; duro; diminuição de maras de raízes e rizoconcreções; halos de redução ao longo das raízes; contato abrupto e plano com um nível de clastos intraformacionais carbonáticos.

Ck. 0-32 cm; horizonte Bruno - forte; arenoso; maciço; duro; intensa bioturbação preenchida por material vermelho, fortemente reagível ao HCl, podendo variar de 3 mm

a 1 cm, predominantemente vertical; formação de nódulos 0,5 cm a 10 cm, os quais, aparentemente, se apresentam como clastos no horizonte; reagível ao HCl; clara e plana.

C1. 32-69 cm; horizonte vermelho - claro; arenoso; maciço; fraco; bioturbação preenchida por material vermelho - escuro, reagível ao HCl; presença de clastos carbonáticos de até 10 cm; clara e plana.

C2. 69-111; horizonte cinzento; arenoso; maciço; fraco; bioturbação igual ao horizonte superior, mas não aumenta as de forma horizontal; aparentemente sem clastos carbonáticos, mas com porções enriquecidas em *situ*; plana e difusa.

C3. 111-255 cm+; vermelho; arenoso; maciço; bioturbação muito comum na porção intermediária do horizonte preenchida por material vermelho-escuro bastante reagível ao HCl que variam de 3 mm a 5 cm, algumas com evidência de animais escavadores; na porção inferior apresentam-se manchas de redução que não estão associadas à bioturbação; nódulos carbonáticos comum na porção superior do horizonte e raros na porção inferior.

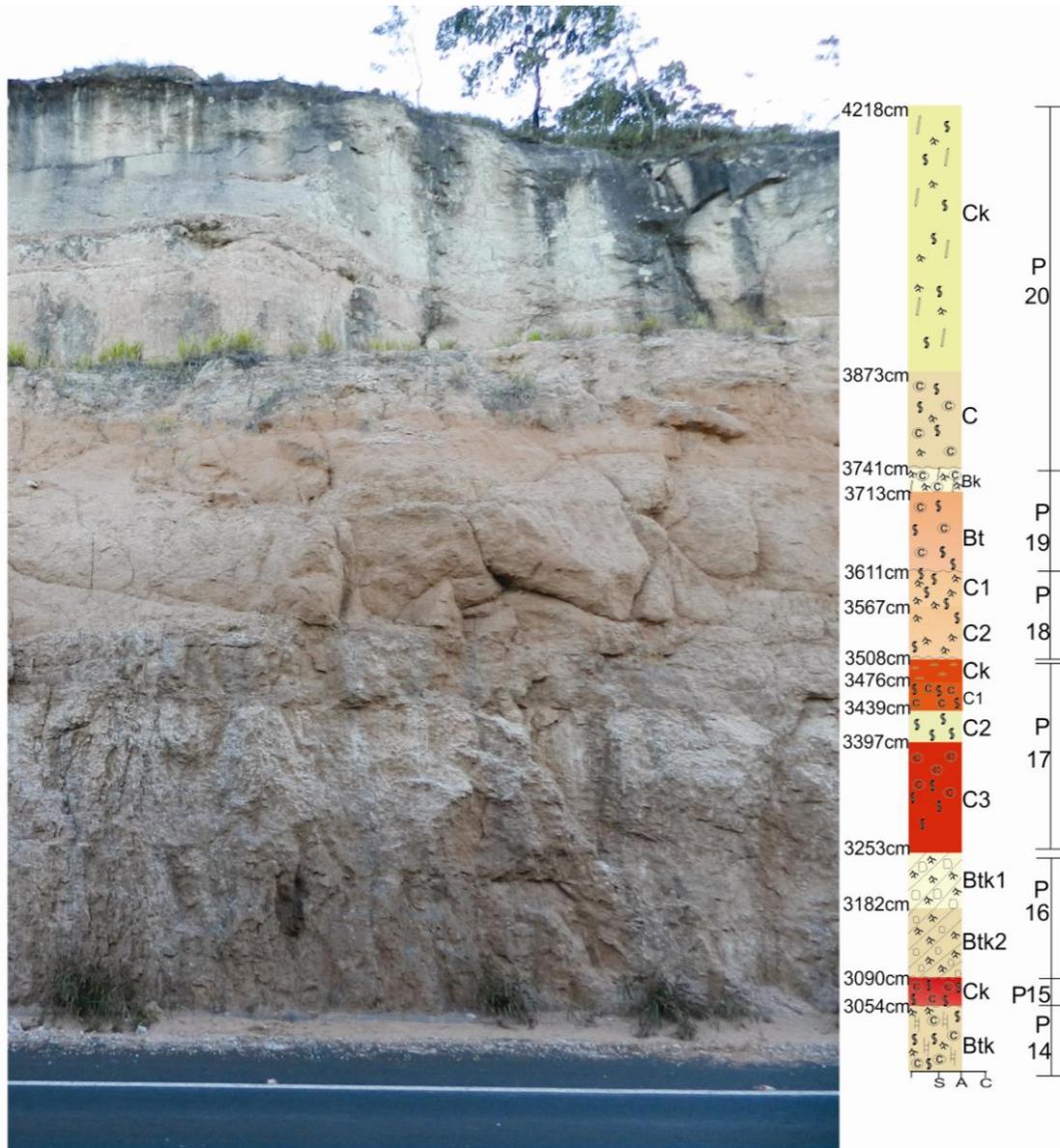
Btk. 0-71 cm; horizonte com cores brancas; arenoso; volumes que parecem estruturas em bloco médio a pequeno; extremamente duro; fortemente carbonatado; bioturbação de raízes abundante que variam de 3 mm – 10 mm, preenchidas por material vermelho-escuro; nódulos abundantes sendo que alguns deles correspondem a rizoconcreções; reagível ao HCl; difusa e plana.

Btk2. 71-163 cm; predominantemente vermelho – claro - acinzentado e vermelho - claro com manchas brancas e branco-rosado; arenoso; estrutura em blocos média e pequena, carbonatado em seu entorno; muito duro; marcas de raízes semelhantes ao horizonte superior, assim como as rizoconcreções; reagível ao HCl; abrupta e plana.

Ck. 163-199; vermelho- escuro e vermelho- claro; arenoso; maciço; duro; com fissuras enriquecidas em carbonato de cálcio; bioturbação abundante preenchida com areia branca e halos de redução; abundância de nódulos carbonáticos com formas irregulares de dimensões até 20 cm; todos os materiais fortemente reagível ao HCl; as porções vermelhas da matriz se apresentam relativamente friáveis; plana e abrupta.

Btk. 199-284 cm+; vermelho – claro - acinzentado; arenoso; prismático grande; forte; halos esbranquiçados associados a nódulos e rizoconcreções; bioturbação muito

abundante de 3 – 10 mm ora preenchida com material vermelho - escuro, ora carbonatado formando rizoconcreções; abundância de nódulos e rizoconcreções, fortemente reagível ao HCl.



LEGENDA

© Nódulos carbonáticos // Horizonte cimentado

□ Estrutura em blocos S Bioturbações

⌘ Marcas de raízes || Crotovinas || Estrutura prismática

- | | |
|--|--|
| 10R7/8 | 10R7/6 |
| 2,5Y8/3 | 10R5/8 |
| 2,5Y7/4 | 10R6/8 |
| 2,5Y8/1 | 5Y8/1 |

Figura 11 -Perfis de paleossolos empilhados encontrados na área de estudo (14 ao 20).

Caracterização Macromorfológica

Foram identificados 20 perfis de paleossolos com espessuras que variam de 300 cm a 500 cm. Em geral, contêm sequências de horizontes Bt/ Btk/ C/ Ck, com exceção de um perfil Glei. Nenhum dos perfis exibe o horizonte superficial “A” preservado. Em sua maioria, a porção superior dos horizontes vem marcada por uma superfície erodida. As cores averiguadas variam desde vermelho (10R5/8), vermelho-claro (10R6/8) a cores variegadas de amarelos 2,5Y8/4, 2,5Y6/6, 7,5Y6. As texturas arenosas se revelam preponderantes, com granulação predominante de areia fina a média.

As estruturas pedogênicas variam de acordo com os horizontes. Em sua maioria, exibem estrutura forte, com alto grau de desenvolvimento e tamanhos grandes, podendo atingir mais de 30 cm nos horizontes B (Figura 12A e 12B). Em alguns casos, as estruturas prismáticas podem ser quebradas em estruturas em blocos angulares secundárias, que revelam o alto grau de desenvolvimento pedogênico. Outras estruturas como maciça e laminar (Figura 12C e 12D) estão associadas aos horizontes C, Ck e Bk.

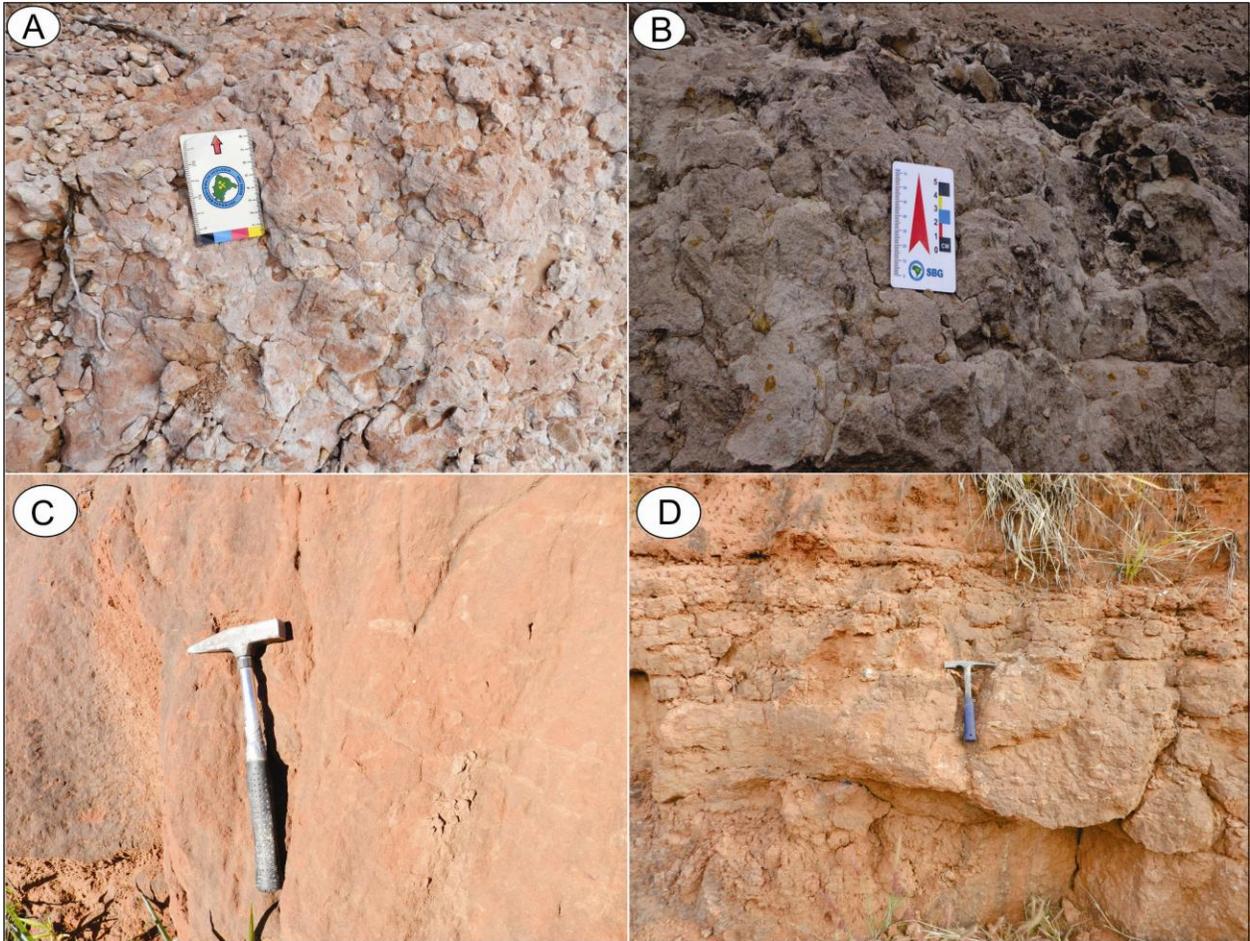


Figura 12 - Estruturas pedogenéticas. A e B) blocos angulares no horizonte Bt. C e D) estrutura maciça e laminar em C e Bk horizontes.

O principal agente cimentante dos horizontes é o carbonato de cálcio. Os horizontes mostram gradação entre horizontes fracamente cimentados (Bt), fortemente (Btk) a extremamente cimentados (Bk e Ck). Frequentemente, as concentrações de carbonato de cálcio formam glébulas, e em sua maioria nódulos. Tais nódulos (Figura 13A) possuem estrutura interna indiferenciada, são duros, brancos, com dimensões que variam desde < 10 mm até 30 mm de diâmetro e formas subesféricas, elipsoidais e irregulares. Outros tipos de glébulas como os halos glebulares são brancos, pequenos (2 mm-10 mm) irregulares. Em alguns casos, os nódulos podem ocupar até 50% do volume dos horizontes, formando horizontes endurecidos de calcrete pedogênico (Figura 13B).



Figura 13 - A) Nódulos irregulares encontrados em horizontes Btk. B) Horizonte com calcrete pedogênico.

Estruturas de bioturbação como rizoconcreções, krotovinas, halos de redução e escavações animais são comuns em quase todos os perfis de paleossolos. Em geral, os icnofósseis correspondem a estruturas cilíndricas alongadas na vertical, com ramificações laterais e afinamento para a base, como as rizoconcreções (Figura 14A) que podem atingir até 21 mm de comprimento.

Outras estruturas com formas subesféricas em plantas e tubulares longitudinalmente, como as krotovinas (Figura 14B) diferenciam-se com base no contraste de cor ou granulação entre o material da matriz e do preenchimento. Frequentemente, o preenchimento das bioturbações é composto por areia fina ou média e calcita.

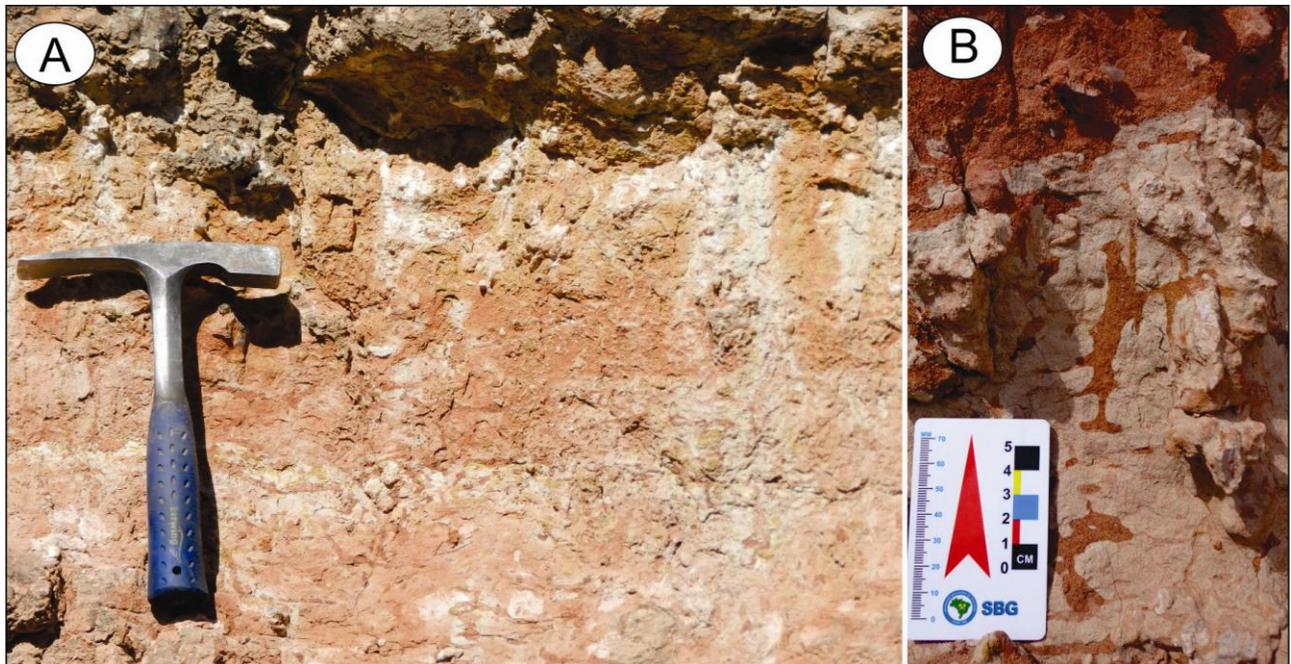


Figura 14 - A) Rizoconcreções preenchido com calcite; B) Krotovinas preenchidas com de areia vermelha.

Interpretação dos resultados macromorfológicos

Os horizontes de textura argilosa subsuperficial (Bt) são amarelo, marrom ou vermelho com óxido de ferro e minerais de hidróxido, como hematita e goethita. A presença deste horizonte com enriquecimento em argila iluvial em paleossolos típicos de condições climáticas semiáridas a áridas é indicativa da ocorrência de períodos pluviais mais úmidos (Khormali *et al.*, 2003). Como não foi encontrada evidência de movimento de argila iluvial em solos sobre as paisagens mais jovens, cientistas do solo concluíram que a formação de um horizonte argillico requer pelo menos alguns milhares de anos (Soil Taxonomy, 1999).

As cerosidades encontradas nos horizontes Bt de paleossolos estão relacionadas aos cutãs de iluviação, os quais são um dos principais fatores de formação desses horizontes. Os cutãs podem ser caracterizados de acordo com sua formação e origem de seus constituintes e, quando de iluviação, recobrem as paredes dos poros condutores hídricos, um limite muito nítido entre o cutã e a parede do poro. Em relação aos seus constituintes, quando ferriargilãs, constituem-se de argila, misturada com óxidos e hidróxidos de Fe, e aparecem em tonalidades vermelho ou amarelo.

As estruturas dos solos (peds) encontradas em campo foram “maciças”, “prismáticas” e “colunares”. As estruturas laminares são finas, mas normalmente com grande extensão lateral e, muitas vezes, formadas pela ruptura inicial do material da camada relíquia em solos pouco desenvolvidos. Peds prismático e colunar são mais altos do que largos e podem estender-se através de uma porção considerável de um solo e formar-se em solos argilosos associados com alternância de umidade (Retallack, 2001).

Muito típico da Formação Marília são os calcretes que foram encontrados na área de estudo. Pimentel *et al.*, (1996) listaram algumas características que permitem a diferenciação entre a pedogênese e as formas de concentração de carbonato de cálcio ligadas à atividade de percolação de águas enriquecidas em CaCO_3 . Segundo os autores, os tributos que diferenciam as feições pedogênicas são perfis pouco espessos (2 a 3 m) organizados em horizontes; estruturas pedogênicas

(nodular, laminar, prismática e blocos) e rizólitos, marmoreados, quando presentes, encontram-se em minoria, refletindo a ausência de Fe e raramente apresentam variações laterais como calcrete – dolocrete – gipcrete. Sendo assim, excluiu-se a possibilidade de que os perfis observados neste trabalho possam ser diagenéticos.

Vestígios de raízes podem ser encontrados com frequência nos perfis de paleossolos, sendo que ocorrem com maior intensidade as feições tubulares preenchidas por material distinto do adjacente, principalmente variações de argila, silte ou areia, ocasionalmente, limitados por películas de óxidos de ferro ou manganês, apresentando bifurcações e diminuição no diâmetro. As concentrações de outros vestígios fósseis, como tocas e krotovinas, também podem ser utilizadas para identificar paleossolos, pois registram os períodos de reduzida ou nenhuma deposição de sedimentos durante o qual foi extensivamente modificada à superfície. Normalmente, as zonas de maiores vestígios de raízes e tocas podem ser interpretadas como horizontes perto do topo de um paleossolo (Retallack, 2001).

Nas feições macromorfológicas de campo foram verificadas evidências de gleização com especial destaque para os aspectos de mosqueamento. Dentro da zona de flutuação do lençol freático, a alternância de condições de oxidação e redução produz desenvolvidos nódulos ou mosqueados gley (McCarthy *et al.*, 1998). O mosqueado é uma evidência de ambiente redutor. A condição redutora não é necessariamente produzida nas porções saturadas em água, mas, também ocorre nas áreas influenciadas pela franja capilar. Portanto, apesar de haver maior disponibilidade aparente de água e sinais de gleização, não significa que se trate de um ambiente úmido, mas que este perfil de solo possivelmente apresenta uma drenagem de água não eficaz.

5.2 Micromorfologia dos Paleossolos

As análises micromorfológicas são essenciais para a descrição e caracterização dos paleossolos, pois os estudos paleopedológicos se baseiam essencialmente na macro e micromorfologia dos materiais (Andreis, 1981; Catt, 1990; Retallack, 1990). Em lâmina, foram descritas as principais propriedades micromorfológicas dos horizontes Bt e Btk, a fim de identificar processos de iluviação de argila em horizontes Bt e Btk.

A iluviação de argila é um importante processo pedogênico registrado nos paleossolos da Formação Marília. As partículas de argila se movem nos solos em estado de suspensão durante a ocorrência das frentes de molhamento e ficam retidas nas superfícies das unidades estruturais ou paredes dos poros após a completa evaporação e/ou absorção da água que as carregavam.

A presença de horizontes pedogênicos que exibem intercalações e superposições de feições de concentração de carbonato de cálcio e argílicas são comuns nos paleossolos estudado. Nos horizontes Bt e Btk analisados, o percentual de cutãs de iluviação (ferriargilãs) que ocorrem na matriz dos paleossolos foi superior a 1% da área das lâminas delgadas, percentual mínimo requerido para a classificação de um horizonte argílico (Soil Survey Staff, 1999). Os ferriargilãs teriam sua origem nos processos de hidromorfia temporária recorrentes nos horizontes superficiais e Bt dos solos, provocando a desestabilização das ligações ferro-argila facilitando a mobilização e redistribuição destes.

Segundo Reheis (1987), horizontes cálcicos que contêm feições de iluviação de argila são comumente interpretados como resultado de mudanças climáticas. As feições de iluviação de argila são formadas, primeiramente, em condições climáticas mais úmidas e posteriormente são recobertas por feições de concentração de carbonato de cálcio quando as condições climáticas se tornam mais secas, com acompanhamento na redução da profundidade de lixiviação (Gile *et al.*, 1966; Khormali *et al.*, 2003). A ocorrência de um horizonte argílico em material de origem calcária de um clima semi-árido para árido poderia apontar para um palaeoprocessos em condições geomorfológicas estáveis (Khormali *et al.*, 2003).

1. P1H1 – Bt

Neste horizonte Bt, o esqueleto é composto por grãos de quartzo com formatos muito variados, em forma de pastilhas e blocos, os quais vão desde grãos subsféricos a esférico, geralmente subarredondados a subangular, mostrando rugosidade ondulada.

As frações granulométricas maiores que 200 μm classificadas como “areia” formam o esqueleto do solo. A frequência do esqueleto na área total da lâmina é em torno de 40 - 50%. Os grãos do esqueleto possuem dimensões de 200 μm a 700 μm , classificáveis como “areia média” (> 70%) e “fina” a “muito fina” (5-15%). A trama é gerúfica, mas em alguns pontos das laminas ocorre distribuição relativa porfírica fechada.

O plasma se apresenta na lâmina com coloração amarelada em torno de 25%, constituído por carbonato em algumas partes. Em geral, são clastos suportados. Há concentração de argilominerais e óxidos e hidróxidos de ferro (Figura 15). Os poros são intergranulares simples e estão presentes em 35% da lâmina.

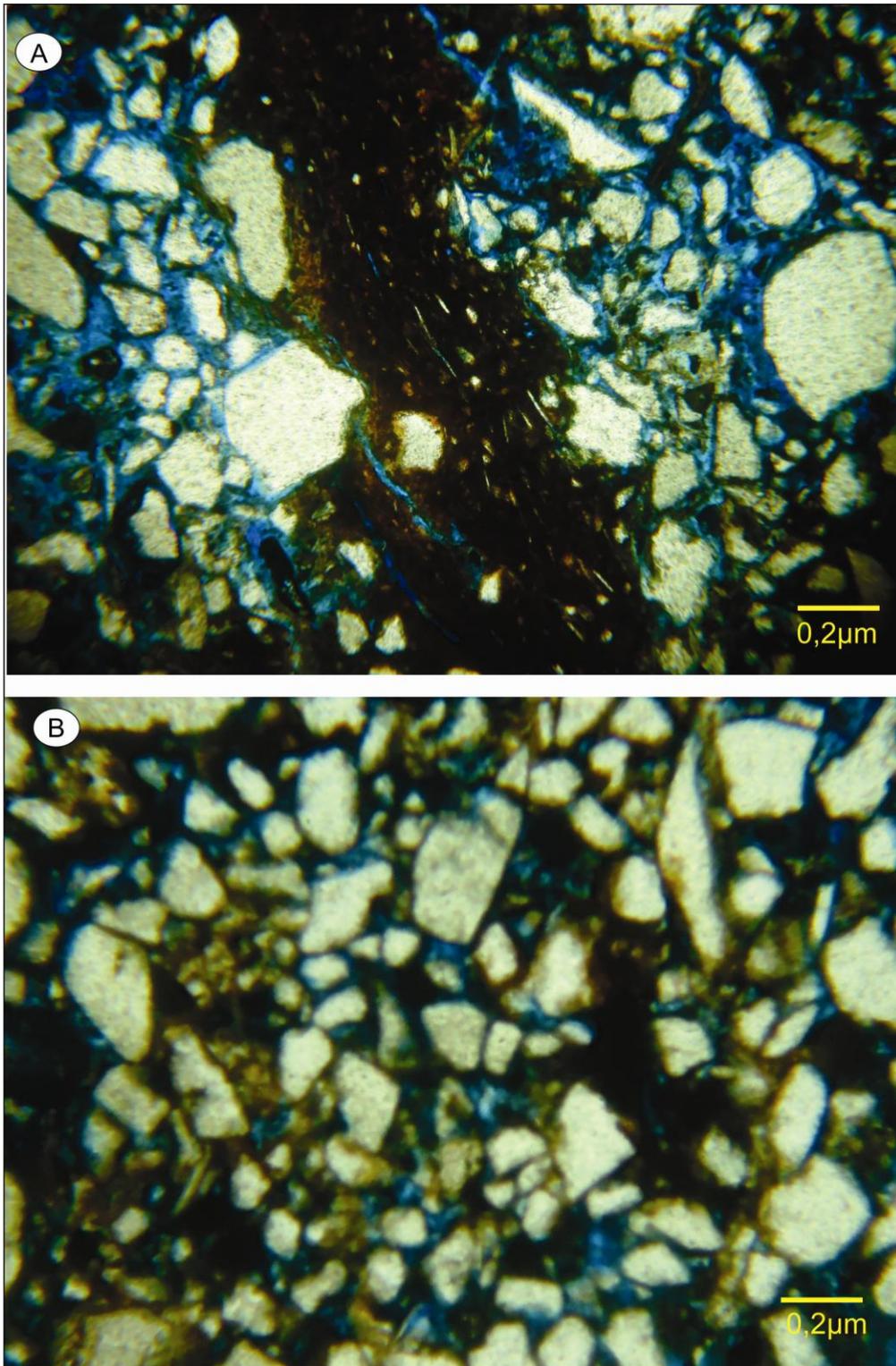


Figura 15 - Iluvial ferriargilã encontrado em horizonte Bt, Perfil 1.

2. P6H1- Bt

Horizonte com esqueleto composto por grãos de quartzo em formato de blocos, pastilhas e prismas, que vão desde subsféricos a subalongados, geralmente subangular a subarredondados, com rugosidade ondulada.

As frações granulométricas maiores que 100 μm formam o esqueleto deste solo. A frequência do esqueleto na área total da lâmina é em torno de 50%. Os grãos do esqueleto possuem dimensões de 100 μm a 700 μm , classificáveis como “areia média” (50 - 70%) e “fina” a “muito fina” (15 - 30%). A trama é gerúfica.

O plasma se apresenta na lâmina com coloração acizentado em torno de 20%, constituído por carbonato em algumas partes. Em geral são clastos suportados. Há concentração de argilominerais e óxidos e hidróxidos de ferro (Figura 16). Os poros são intergranulares simples e estão presentes em 30% da lâmina.

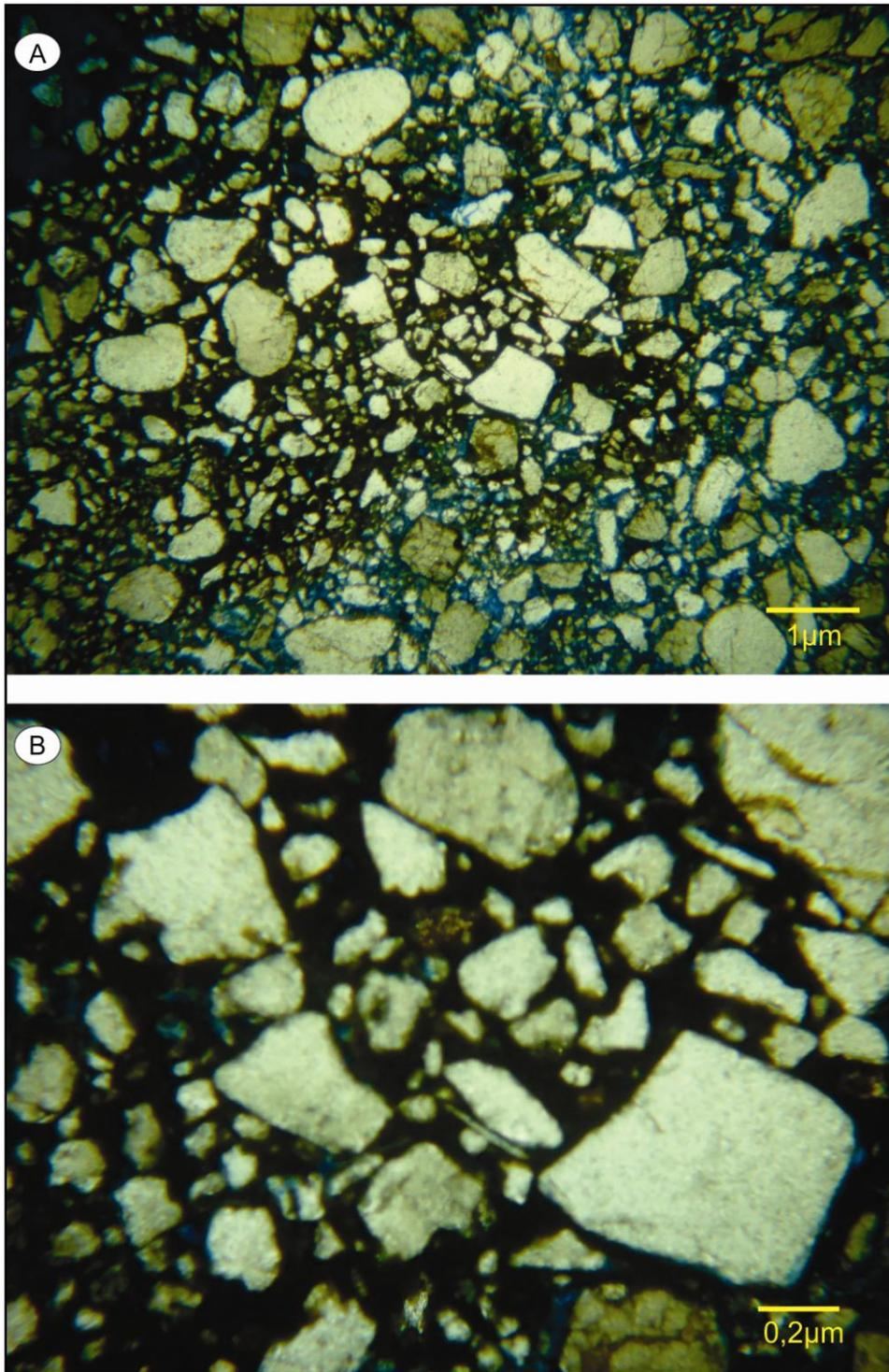


Figura 16 - Iluvial ferriargilã descrito em horizontes Bt, Perfil 6.

3. P14H – Btk

Neste horizonte Btk, o esqueleto é composto por grãos de quartzo em forma de pastilhas e blocos, os quais vão desde grãos subsféricos a esférico, geralmente subarredondados a subangular, mostrando rugosidade ondulada.

As frações granulométricas maiores que 200 μm classificadas como “areia” formam o esqueleto do solo. A frequência do esqueleto na área total da lâmina é em torno de 50%. Os grãos do esqueleto possuem dimensões de 100 μm a 500 μm , classificáveis como “areia média” (> 70%) e “fina” (15 - 30%). A trama é gerúfica.

O plasma se apresenta na lâmina com coloração amarelada em torno de 25%, constituído por carbonato em algumas partes. Em geral, são clastos suportados. Há uma rara concentração de argilominerais e óxidos e hidróxidos de ferro (Figura 17). Os poros são intergranulares simples e estão presentes em 35% da lâmina.

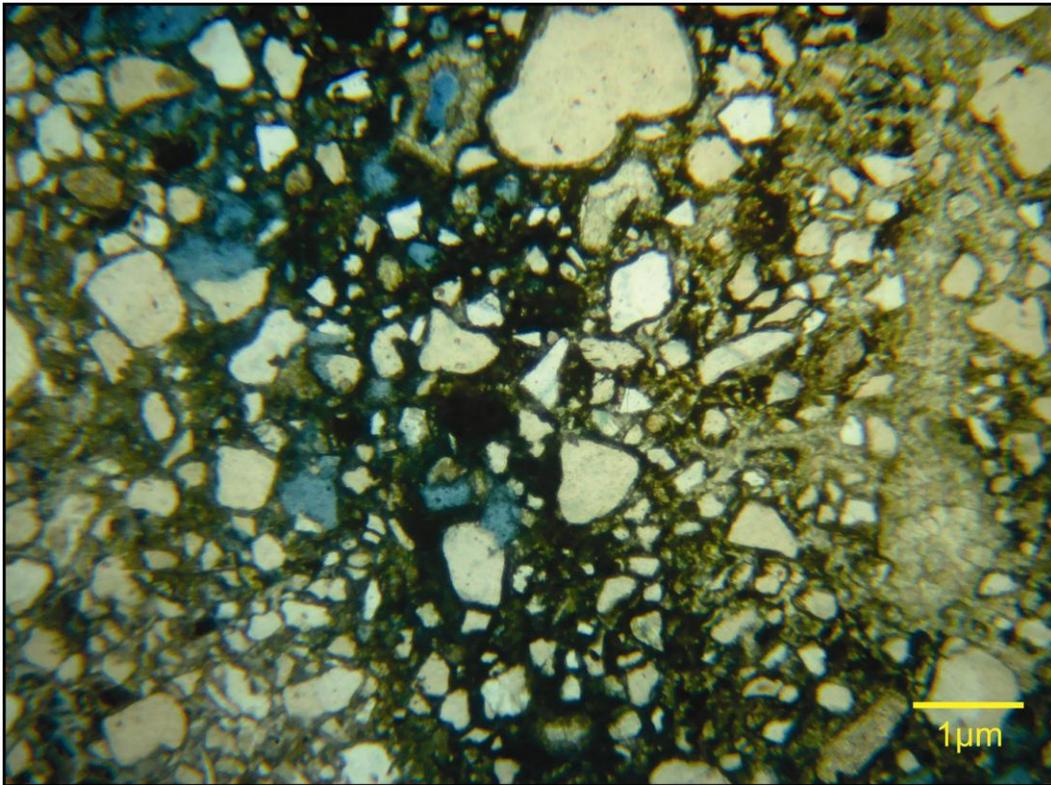


Figura 17 - Iluvial ferriargilã descrito em horizontes Btk, Perfil 14.

4. P16H – Btk1

Horizonte com esqueleto composto por grãos de quartzo em formato de blocos, pastilhas e prismas, que vão desde subsféricos a esféricos, geralmente subangular a subarredondados, com rugosidade ondulada.

As frações granulométricas maiores que 200 μm formam o esqueleto deste solo. A frequência do esqueleto na área total da lâmina é em torno de 50%. Os grãos do esqueleto possuem dimensões de 100 μm a 500 μm , classificáveis como “areia média” (50 - 70%) e “fina” (15 - 30%), a “muito fina” (5 – 15%). A trama é porfírica fechada.

O plasma se apresenta na lâmina com coloração amarelado em torno de 30%, constituído por carbonato em algumas partes. Em geral, são clastos suportados. Há uma rara concentração de argilominerais e óxidos e hidróxidos de ferro (Figura 18). Os poros são intergranulares simples e estão presentes em 20% da lâmina.

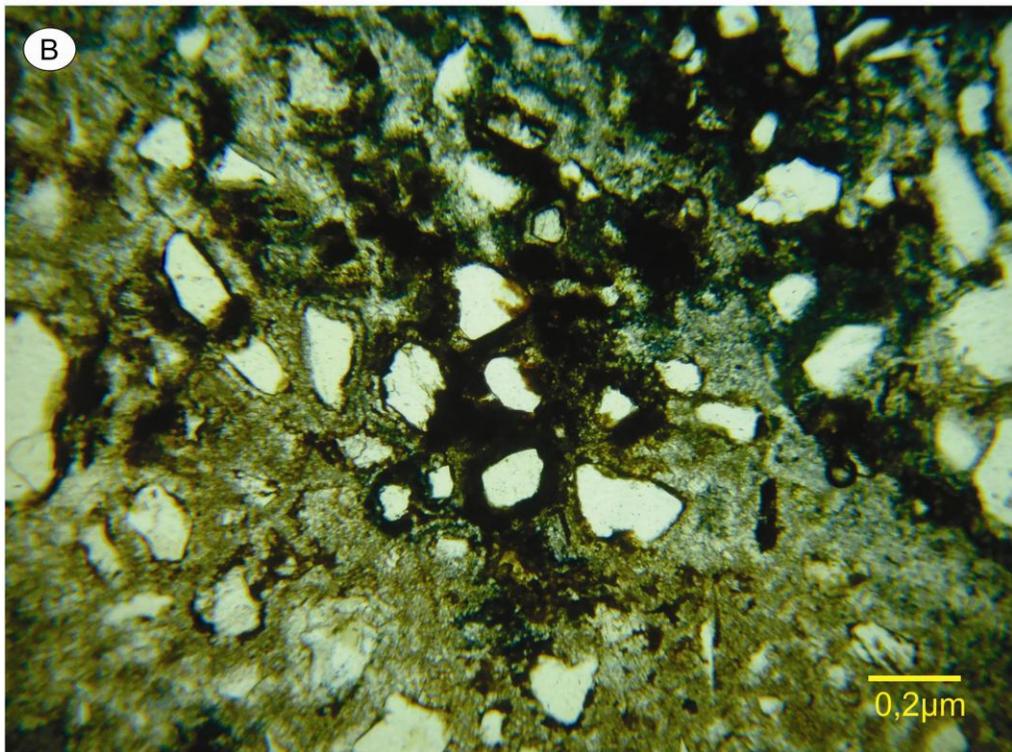
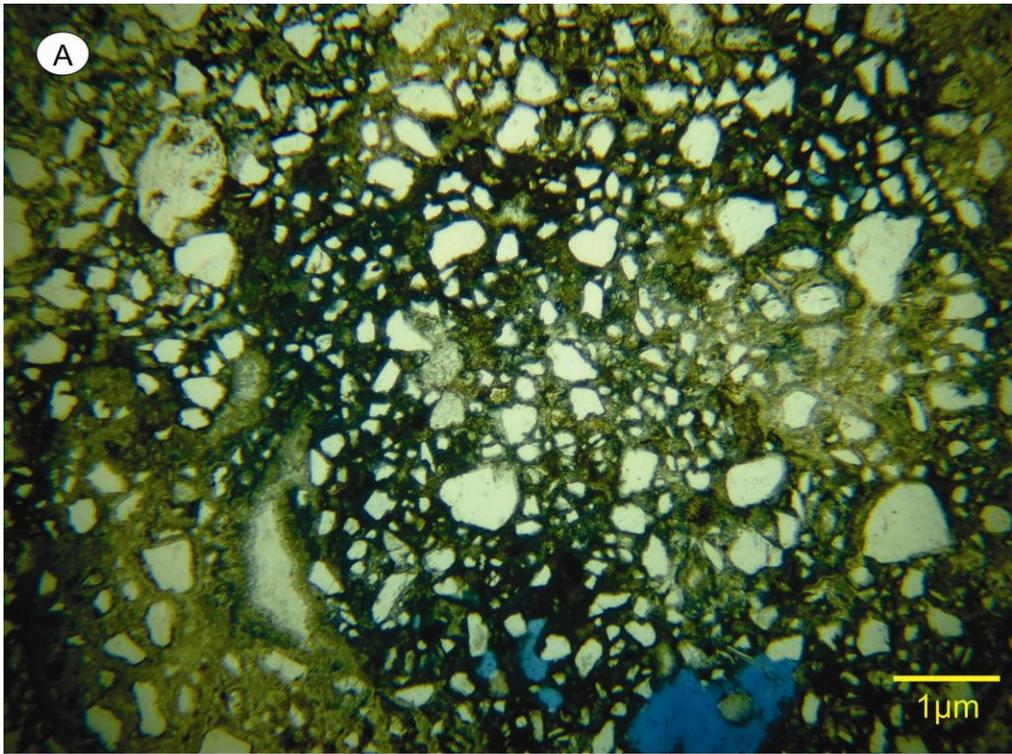


Figura 18 - Iluvial ferriargilã descrito em horizonte Btk, Perfil 16.

5.3 Mineralogia

A análise mineralógica foi realizada em 10 amostras de horizontes Bt e Btk de perfis de paleossolos da área de estudo. Foram encontrados palygorskita nos perfis 1 e 6 (horizontes Bt, Bt1 e Bt2 respectivamente). Estas análises confirmam os estudos de autores anteriores que descreviam a palygorskita e a esmectita como minerais de argila frequentes da Formação Marília (Suguo e Barcelos, 1983).

A presença de palygorskita como argilomineral dominante (Figura 19) nos horizontes Bt analisados indica que o material utilizado para a difração possui carbonatos em sua composição, pois a presença deste argilomineral em horizonte iluvial é um indício de que este possui pequenos nódulos ou filamentos iluviais de carbonato de cálcio em torno de grãos (Dal’Bó e Basilici, 2010). A palygorskita é um argilomineral instável em solos submetidos a índices de precipitação superiores a 300 mm e se transforma, em sua maioria, em esmectita (Paquet e Millot, 1972).

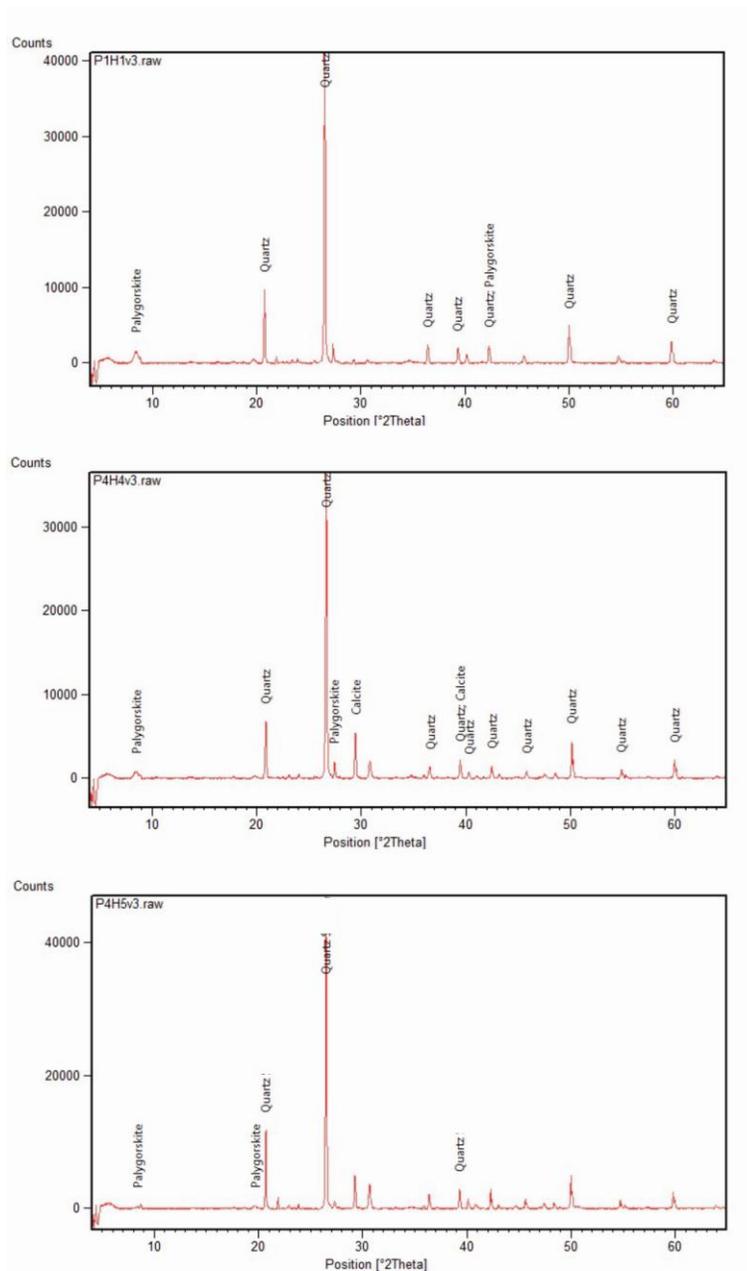


Figura 19 - Padrão de difração de raios-X de horizontes Bt (Perfis 1 e 6). Palygorskita é o mineral de argila dominante.

A coexistência de nódulos carbonáticos pedogênicos com palygorskite e revestimentos de argila illuvial em cristais de calcita no horizonte argílico de Aridissolos no centro do Irã sugere que palygorskite está preso por carbonato pedogenético e o horizonte argílico formado quando o clima era mais úmido do que atualmente (Khormali *et al.*, 2003).

5.4 Análise Química

Os dados e resultados das análises de espectrometria de fluorescência de raios-x encontram-se na Tabela 1; os índices de alterações moleculares, localizados na Tabela 2 e Figura 20, foram calculados para avaliar o grau de intemperismo químico de paleossolos (Retallack, 2001; Sheldon e Tabor, 2009).

Tabela 1 - Elementos maiores e traços para cada horizonte de paleossolos e reportadas em percentagem de óxido ou em ppm.

Perfil	Horizontes	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Ba	Sr
P20	Ck	83,3	0,49	4,53	1,87	0,04	1,7	2,78	0,17	1,3	0,04	269	81
P20	C	77,8	0,56	4,92	2,14	0,04	2,09	6,58	0,19	1,4	0,05	280	193
P19	Bk	72,2	0,45	3,43	1,61	0,09	4,39	13,8	0,15	1	0,04	268	479
P19	Bt	80,4	0,47	3,69	1,69	0,05	3,08	6,55	0,16	1,1	0,04	258	327
P18	C1	78,1	0,47	3,58	1,68	0,05	2,07	10,2	0,12	1	0,04	277	304
P18	C2	72	0,44	3,28	1,5	0,04	1,24	17,9	0,13	0,9	0,05	270	596
P17	Ck	80,8	0,58	5,11	2,27	0,04	1,09	4,7	0,18	1,5	0,05	305	147
P17	C1	80,3	0,56	4,42	2,11	0,05	0,9	6,99	0,21	1,2	0,05	273	149
P17	C2	80,7	0,69	5,78	2,3	0,04	1,18	3,68	0,26	1,8	0,05	325	120
P17	C3	76,6	0,52	3,73	1,87	0,07	1,12	12,1	0,2	1,2	0,05	285	263
P16	Btk1	48,3	0,52	3,52	2,02	0,11	7,02	34,5	0,04	0,5	0,06	178	720
P16	Btk2	77	0,87	6,04	3,61	0,05	2,91	2,14	0,2	1,1	0,06	245	92
P15	Ck	45,2	0,6	3,84	2,55	0,14	13,6	30	0,18	0,8	0,07	264	1577
P14	Btk	73,8	0,68	5,04	2,55	0,08	4,41	8,14	0,28	1	0,05	257	358
P13	C1	85,8	0,55	3,66	3,03	0,09	0,87	2,23	0,1	0,7	0,06	219	75
P13	C2	80,4	0,78	6,42	3,51	0,09	1,43	0,88	0,16	1,4	0,09	335	81
P12	Ck	67,7	0,55	3,97	2,53	0,08	0,97	18,5	0,17	1	1,42	341	450
P11	C	85,7	0,71	4,27	3,18	0,08	0,77	0,54	0,04	0,6	0,04	206	35
P10	Cg1	88,1	0,81	4,06	2,65	0,09	0,52	0,43	0,09	0,7	0,06	1,7	99,3
P10	Cg2	90,3	0,51	3,1	2,85	0,1	0,38	0,27	0,02	0,5	0,06	1,6	99,6
P10	Cg3	93,8	0,22	2,2	1,09	0,04	0,24	0,18	0,02	0,4	0,04	142	17,5
P10	Cg4	82,1	0,77	6,78	4,13	0,22	0,72	0,48	0,09	1,2	0,07	403	43
P9	C	73,3	0,63	3,78	2,13	0,06	2,12	8,09	0,07	0,8	0,04	8,6	99,7
P8	Ck	82,3	0,66	4,01	2,61	0,06	1,89	2,82	0,06	1	0,04	244	91
P7	C1	64,7	0,65	5,25	2,82	0,08	2,87	10,4	0,16	1,4	0,05	11	99,6
P7	C2	78,6	0,66	4,6	2,98	0,08	1,77	4,31	0,13	1,1	0,05	5,5	99,8
P6	Bt1	68,2	0,72	5,08	2,91	0,08	2,83	8,41	0,2	1,3	0,05	9,8	99,6
P6	Bt2	67,1	0,7	5,82	2,88	0,09	3,32	8,26	0,18	1,6	0,05	10	100
P5	Ck	69,1	0,6	4,91	3,09	0,09	3,28	7,56	0,14	1,2	0,05	257	275
P4	2Ck	46,7	0,38	2,25	2,8	0,14	3,87	21,2	0,1	0,5	0,06	224	587
P3	Btk	38,4	0,34	2,41	1,48	0,08	2,78	27,6	0,1	0,7	0,04	239	585
P3	C	61,6	0,56	4,74	2,82	0,07	1,12	14,2	0,15	1,1	0,05	262	328
P2	C1	86,5	0,75	4,93	2,58	0,06	0,84	0,42	0,1	1,3	0,04	301	64
P2	C2	85,6	0,91	5,49	2,81	0,06	0,89	0,49	0,09	1,4	0,04	313	70
P2	C3	86,9	0,75	4,57	2,86	0,07	0,73	0,4	0,06	1,2	0,04	286	58
P2	C4	89,3	0,52	3,9	2,37	0,07	0,66	0,32	0,07	1	0,04	257	50
P1	Bt	79,3	0,74	7,01	3,39	0,05	2,25	1,23	0,23	2	0,05	384	88
P1	C1	65,8	0,44	3,38	2,12	0,07	1,7	12,8	0,08	0,8	0,04	235	253
P1	C2	77,9	0,56	3,87	2,47	0,08	1,67	5,76	0,12	0,9	0,04	267	107

Tabela 2 - Índices de alteração moleculares dos paleossolos da Formação Marília na área de estudo.

Perfil	Horizonte	CIA-K	Lixiviação	Argilização	Perda de Base	Calcificação
P20	Ck	45,92	2,12	0,03	6,14	5,15
P20	C	28,61	0,93	0,04	24,69	23,15
P19	Bk	11,92	0,36	0,03	10,84	1,86
P19	Bt	23,26	0,50	0,03	3,06	22,84
P18	C1	16,08	0,58	0,03	2,74	6,68
P18	C2	9,10	0,29	0,03	2,79	1,67
P17	Ck	36,63	1,32	0,04	3,51	3,39
P17	C1	25,29	1,17	0,03	14,07	2,21
P17	C2	44,81	1,73	0,04	46,08	10,88
P17	C3	14,27	0,69	0,03	64,49	6,63
P16	Btk1	5,31	0,16	0,04	21,30	5,34
P16	Btk2	58,87	1,70	0,05	6,21	10,55
P15	Ck	6,55	0,11	0,05	16,22	3,51
P14	Btk	24,83	0,46	0,04	8,10	2,06
P13	C1	46,45	1,86	0,03	12,59	0,69
P13	C2	77,51	2,64	0,05	13,56	9,07
P12	Ck	10,50	0,48	0,03	12,41	0,81
P11	C	80,30	3,76	0,03	1,85	1,71
P10	Cg1	81,37	0,01	0,03	1,84	0,40
P10	Cg2	85,55	0,01	0,02	3,50	0,42
P10	Cg3	85,93	5,18	0,01	2,75	0,47
P10	Cg4	86,91	5,98	0,05	5,15	0,52
P9	C	20,32	0,06	0,03	3,98	5,31
P8	Ck	43,42	1,71	0,03	26,59	4,02
P7	C1	21,55	0,07	0,05	2,10	4,42
P7	C2	36,36	0,03	0,03	9,05	2,68
P6	Bt1	24,54	0,06	0,04	13,35	4,97
P6	Bt2	27,54	0,06	0,05	29,64	2,47
P5	Ck	26,00	0,60	0,04	15,93	6,06
P4	2Ck	5,50	0,24	0,03	20,34	23,77
P3	Btk	4,56	0,26	0,04	32,59	21,46
P3	C	15,36	0,51	0,05	10,01	4,49
P2	C1	84,16	3,00	0,03	12,43	0,58
P2	C2	84,09	2,85	0,04	8,00	0,56
P2	C3	84,69	3,15	0,03	20,58	0,57
P2	C4	84,84	3,28	0,03	54,27	0,59
P1	Bt	72,83	2,78	0,05	5,08	3,80
P1	C1	12,59	0,59	0,03	48,74	8,18
P1	C2	26,62	1,59	0,03	13,63	1,13

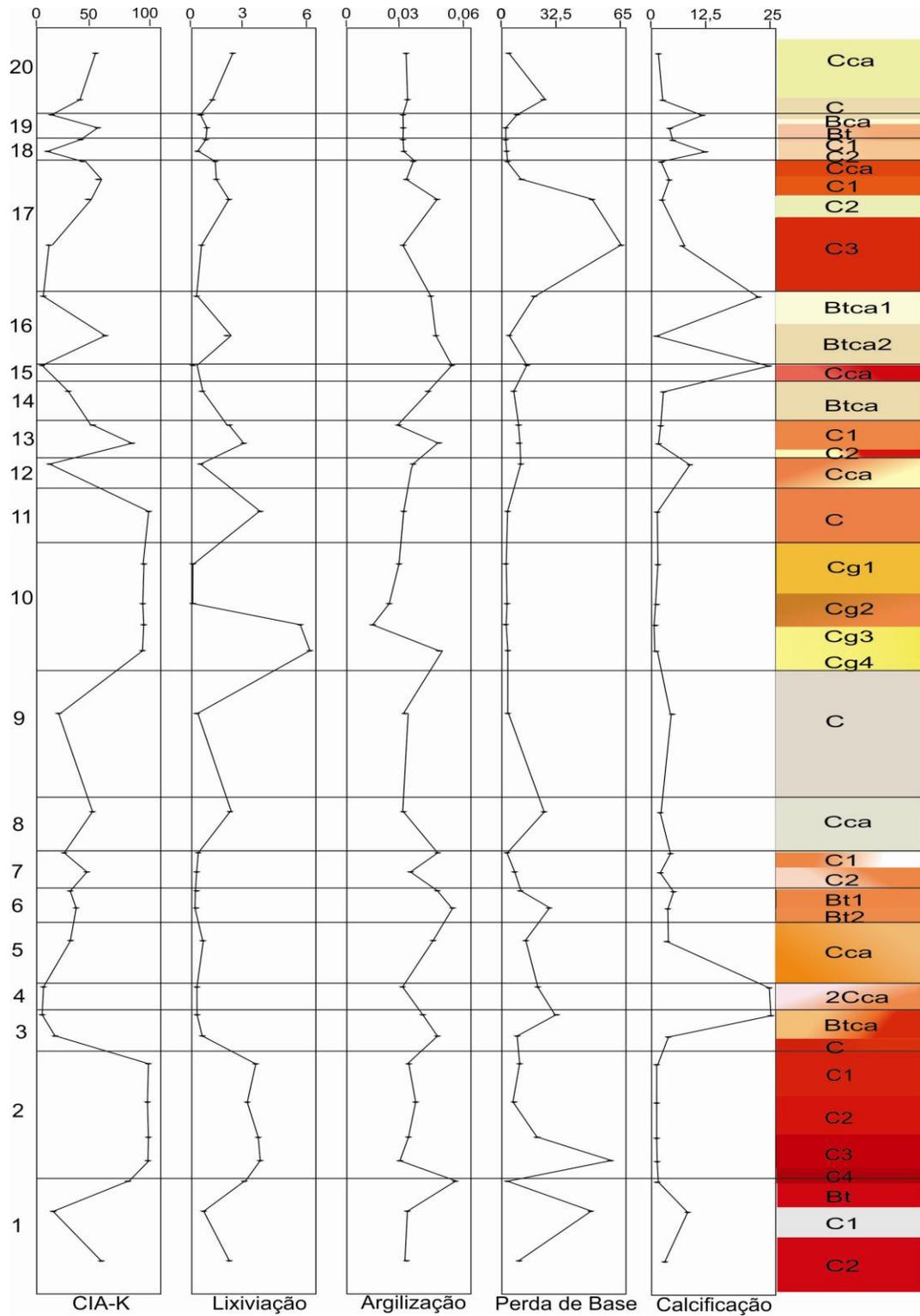


Figura 20 - Índices de alterações moleculares nos perfis de paleossolos da Formação Marília no oeste de Minas Gerais.

O SiO_2 é o óxido mais abundante (Tabela 1), obtendo uma distribuição constante em todos os perfis que variam de 70 a 85%, diminuindo para 65 e 38 % apenas quando o CaO aumenta. As variações mais relevantes de sesquióxidos estão relacionadas às variações de CaO (Tabela 1), diminuindo quando CaO aumenta. A variação de CaO marca a concentração em carbonato de nódulos e os horizontes cálcicos (Tabela 1). Os valores mínimos de CaO são encontrados no perfil glei (10) e nos horizontes C, sublinhando a forte lixiviação deste óxido. O MgO está presente em quantidades baixas, mostrando pequenos aumentos na correspondência dos horizontes Bca, atestando provável presença de dolomita. Baixos valores de sódio em contraste com os maiores valores de potássio indicam que houve água suficiente para remover a maior parte de sódio nos paleossolos, mas não o suficiente para remover o potássio, que é um cátion menos móvel. Portanto, estas estimativas podem indicar uma forte sazonalidade de precipitação durante o Maastrichtiano (Retallack, 2001).

O índice químico de alteração sem potássio ($\text{CIA-K} = \text{CIA-K} = 100 \times ((\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})))$) mede o grau de intemperismo dos paleossolos em diferentes horizontes. Portanto, quando o CIA-K aumenta, concomitantemente, ocorre um aumento na lixiviação (Ba/Sr) e, por isso, a diminuição dos valores da perda de base ($m\Sigma\text{bases}/m\text{Al}_2\text{O}_3$). Altos valores de CIA-K refletem, conseqüentemente, altos valores de precipitação, estes solos são portanto, submetidos a intensos processos de alteração química. Em geral, esses processos culminam com a lixiviação dos elementos solúveis alcalinos e alcalinos terrosos e com a concentração de elementos menos solúveis como o alumínio (Dal'Bó e Basilici, 2010).

Na lixiviação (Ba/Sr), o estrôncio é significativamente mais solúvel do que o bário, apresentando, desse modo, valores mais elevados são esperados em horizontes mais lixiviados (Retallack, 2001). Os índices de lixiviação co-variam em relação inversa com a perda de base; assim, maiores valores de lixiviação são esperados com diminuição nos índices de perda de base. Os maiores valores de lixiviação são encontrados nos perfis 2 e 10.

A formação da argila é indicada pela relação de alumínio para sílica ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$). Essa proporção molecular mostra valores de resistência muito baixa (0,013 - 0,051), quando os solos argilosos apresentam geralmente valores superiores a 0,3. Os valores

mais elevados nos perfis de paleossolos do estudo são utilizados para reconhecer a concentração de argilas em horizontes Bt (Hamer *et al.*, 2007b).

A calcificação ($mCaO + mMgO$) / mAl_2O_3) exibe distribuição muito irregular de valores através dos horizontes nos paleossolos. Esse padrão irregular é uma característica dos horizontes pedogênicos enriquecidas em carbonato de cálcio. Os perfis que apresentam horizontes Btk, Bk e Ck possuem um maior valor de concentração de carbonato de cálcio. A variabilidade dos valores provavelmente resulta de uma fonte externa de carbonato de cálcio, como a adição de poeira eólica ou carbonato dissolvido na água da chuva (Machette, 1985).

Interpretação da análise química

No perfil 1 ocorre uma diminuição do índice de CIA- K e lixiviação no horizonte C1 com um aumento na calcificação. Tal mudança pode ser explicada por um período climático mais quente e seco; ao passo que, no horizonte superficial deste perfil (Bt) há um aumento significativo do CIA-K e lixiviação, assim como no processo de argilização, no qual ocorre uma diminuição na calcificação. Essas variações nos índices de alterações podem ser evidências de uma sazonalidade climática durante a formação deste perfil de paleossolo.

No perfil 2, o índice de alterações moleculares mostra uma alta taxa de intemperismo químico no processo de lixiviação em todos os horizontes (C1, C2, C3 e C4); enquanto que, o processo de calcificação neste perfil é quase nulo. Altos índices de intemperismo químico e lixiviação podem indicar um período climático úmido e quente, com perda de bases.

Os perfis 3, 4 e 5 apresentam uma diminuição significativa nos processos de intemperismo e lixiviação, com aumento significativo da calcificação, formando horizontes Ck e Btk. Uma variação pontual climática pode ter ocorrido durante a formação dos perfis de paleossolos 2 e nos perfis 3, 4 e 5.

O perfil 6 apresenta uma variação contínua no índice de CIA-K e lixiviação, com aumento da argilização nos horizontes argílicos Bt1 e Bt2; à medida que os perfis 8 e 9

apresentam taxas de intemperismo e lixiviação sem maior variâncias, alegando uma continuidade climática.

Além de ser um paleossolo gley, o perfil 10 também apresenta um alto índice de CIA-K e lixiviação, relacionando-se, possivelmente, a um maior índice de paleoprecipitação com clima quente. Ainda neste mesmo perfil, apresenta-se a possibilidade de uma drenagem de água não eficaz, em um relevo plano.

A base do perfil 11 (Horizonte C) apresenta uma continuidade nos índices de lixiviação e intemperismo do perfil 10. Enquanto isso, nos perfis superiores, nota-se a ocorrência de uma modificação pontual no horizonte Ck, com queda significativa no índice de intemperismo e lixiviação, assim como um aumento na calcificação. Essa constatação evidencia uma possível mudança climática para um período mais seco. Os horizontes superficiais do perfil 13 (C1 e C2) apresentam um aumento nas taxas de intemperismo e lixiviação, diminuem gradativamente para o perfil 15. Neste perfil, o horizonte Ck apresenta uma queda abrupta nas taxas de lixiviação e intemperismo com um aumento significativo no processo e calcificação.

Os perfis 18,19 e 20 apresentam pequenas variações gradativas nas taxas de intemperismo, lixiviação, argilização e calcificação; assim como, taxas moderadas de lixiviação e intemperismo, as quais sinalizam um clima quente e seco, sem grandes variações pluviométricas.

As análises expostas nesta pesquisa corroboram com estudos anteriores sobre o clima do Cretáceo Superior da Bacia Bauru, o qual sucedeu sob condições, em geral, áridas (Suguio e Barcelos, 1983), com estações bem definidas, distinguidas pela alternância entre períodos secos e chuvosos (Goldberg e Garcia, 2000).

5.5 Estimativas de paleoprecipitação

Para verificar as estimativas anuais de paleoprecipitação, foi empregada uma equação exponencial que relaciona os índices de precipitação (MAP) com os índices de alteração química (CIA-K) de horizontes argílicos Bt e Btk.

A primeira etapa para a aplicação da equação é o cálculo dos índices de alteração química. Esse índice foi originalmente proposto por Nesbitt & Young (1982), como segue a equação: $CIA = 100 \times (Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O))$, em % de massa molar. A aplicação desse índice sem o óxido de potássio foi sugerida por Maynard (1992), com o objetivo de controlar os efeitos do metassomatismo do potássio em paleossolos. Sheldon *et al.*, (2002) propuseram a seguinte equação:

$$P \text{ (mm)} = 14.265(CIA-K) - 37.632$$

na qual $R = 0.73$ (coeficiente de determinação).

O uso dos índices de alteração química de horizontes Bt e Btk na área de estudo tornou-se possível, visto que se baseia nas características dos horizontes B e não requer o horizonte superficial A preservado. Os resultados apresentados (Figura 21) neste estudo refletem dois momentos distintos de evolução paleoclimática durante a deposição e formação de solos na Formação Marília.

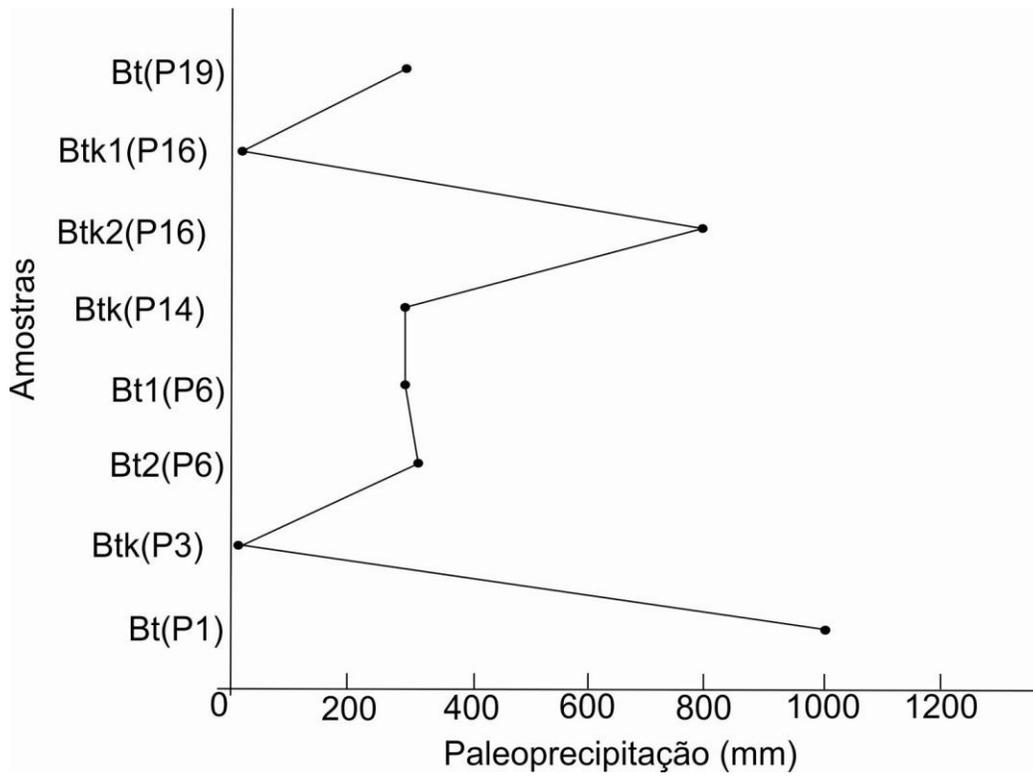


Figura 21 - Estimativas de paleoprecipitação calculadas em horizontes Bt e Btk.

As estimativas realizadas por meio da geoquímica de horizontes Bt apresentaram considerável incremento na quantidade de chuvas, com valores médios de 490 mm/ano (Figura 21). Esses valores refletem um momento distinto de evolução da Formação Marília, no qual os carbonatos depositados em fases mais secas passaram a sofrer lixiviação e o processo dominante se tornou a iluviação de ferro e argila e a formação de horizontes Bt.

Esses dados de paleoprecipitação em horizontes Bt e Btk na Formação Marília revelam dois momentos distintos de sua evolução paleoclimática caracterizada por momentos de maior aridez, permitindo o desenvolvimento de horizontes cálcicos e outro com valores médios de 490 mm/ano, suficientes para a lixiviação dos carbonatos e favorecimento dos processos de dispersão, translocação e acumulação de argilas nos horizontes argílicos. Esta sequência poligenética mostra as mudanças verticais em propriedades do solo, as quais estão relacionadas a mudanças em sua própria umidade.

6. CONCLUSÃO

O processo de iluviação de argila em horizontes Bt e a e intensa carbonatação em horizontes Bk e Ck sugeriram condições de clima semi-árido, com alternância climática.

Os índices de alteração molecular dos 20 perfis de paleossolos indicaram variação nas condições intempéricas, sendo registradas maiores taxas de CIA- K, lixiviação, argilização, perda de base e diminuição da calcificação na base da seção, coincidindo com período de maior precipitação na área de estudo (1000 mm, perfis 1 e 2).

De acordo com estimativas de paleoprecipitação baseado no cálculo de Sheldon *et al.*, 2002 foram registrados dois períodos de alta pluviosidade (P1Bt = 1000mm e P16Btk = 800mm) intercalados com períodos de menor pluviosidade.

Houve uma evolução paleoambiental refletida em maiores e menores índices de aridez, o que possibilitou períodos distintos de paleoprecipitação e formação de diferentes perfis de paleossolos. Os horizontes Bk e Ck estariam relacionados a um período preponderante com maior aridez e intensa carbonatação. Já os horizontes Btk indicaram uma sazonalidade climática, suficiente para a carbonatação e lixiviação de argila; ao passo que os horizontes Bt, podem indicar condições climáticas pontuais mais úmidas, suficientes para a formação, translocação e deposição da argila nos horizontes superficiais.

7. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F.F.M.; BARBOSA, O. 1953. Geologia das quadrículas de Piracicaba e Rio Claro. Rio de Janeiro: Boletim da Divisão de Geologia de Minas, Departamento Nacional de Produção Mineral, v. 143, p. 1-96.
- ALMEIDA, F. F. M. de, DANTAS, A. S. L., FERNANDES, L. A., SAKATE, M. T., GIMENES, A. F., TEIXEIRA, A. L., BISTRICHI, C. A. 1981. Considerações sobre a estratigrafia do Grupo Bauru na Região do Pontal do Paranapanema no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3, 1981, Curitiba. *Atas...* Curitiba: SBG,. v 2: p. 77-89.
- ANDREIS, R.R. 1981. Identificación e Importancia Geológica de los Paleosuelos. Editora da UFRGS, Porto Alegre, 67 pp.
- BASILICI, G., DAL' BO, P.F.F., LADEIRA, F.S.B., 2009. Climate-induced sediment-palaeosol cycles in a Late Cretaceous dry aeolian sand sheet: Marília Formation (North-West Bauru Basin, Brazil). *Sedimentology* 56, 1876–1904.
- BARBOSA, O. *et al.* da. 1970. Geologia da Região do Triângulo Mineiro. Bol. Div. Fom. Min. (Rio de Janeiro), DNPM. Bol. 136.
- BARCELOS, J. H. Geologia Regional e Estratigrafia Cretácica do Triângulo Mineiro. *Sociedade e Natureza*, Uberlândia, v. 5, n.o 9/10, p. 9-24, 1993.
- BARCELOS, J. H. 1984. 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. Rio Claro, 1984. 190p. Tese (Livre Docência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista

- BARCELOS, J. H.; LANDIM, P.M.B.; SUGUIO, K. 1981. Análise Estratigráfica das Sequências Cretácicas do Triângulo Mineiro (MG) e suas correlações com as do Estado de São Paulo. In Simpósio Regional de Geologia, III, Curitiba.. Atas... Curitiba, SBG, v. 2, p. 90-102.
- BARCELOS, J.H.; SUGUIO, K. 1987. Correlação e extensão das unidades litoestratigráficas do Grupo Bauru, definidas em território paulista e nos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 6. Atas... Rio Claro, p. 313-321.
- BATEZELLI, A. Análise da sedimentação cretácea no Triângulo Mineiro e sua correlação com áreas adjacentes. Rio Claro, 2003. 183 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.
- BATEZELLI, A. . 2010. Arcabouço tectono-estratigráfico e evolução das Bacias Caiuá e Bauru. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 40, p. 265-285.
- CASTRO, S.S. 2002. Micromorfologia de solos: bases para descrição de lâminas delgadas. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 143 p.
- CATT, J.A. 1990. Paleopedology manual. Quaternary International, 6: 1-95.
- DAL' BO, P. F. F. ; LADEIRA, F. S. B. 2006. Ambientes Paleoclimáticos da Formação Marília Baseado em Análise Paleopedológica na Região de Monte Alto (SP). **Geociências** (UNESP. Impresso), Rio Claro, v. v.25, p. 127-134.
- DAL' BO, P.F.F. *et al.* 2009. Paleoclimatic interpretations from pedogenic calcretes in a Maastrichtian semi-arid eolian sand-sheet palaeoenvironment: Marília Formation (Bauru Basin, southeastern Brazil). **Cretaceous Research** 30, 659-675.

DAL' BO, P.F.F., BASILICI, G.; ANGELICA, R. S.; LADEIRA, F. S.B Factors of paleosol formation in a Late Cretaceous eolian sand sheet paleoenvironment, Marília Formation, Southeastern Brazil, *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* (2010), doi:10.1016/j.palaeo.2010.04.021.

DAL' BO, P. F. F.; BASILICI, G. 2011. Interpretação paleoambiental da Formação Marília na porção noroeste da Bacia Bauru: relações entre sedimentação e paleopedogênese em um antigo lençol de areia eólica. **Geociências** (UNESP. Impresso), v. 30, p. 509-528.

DIAS-BRITO, D. 2001. *et al.* Grupo Bauru: uma unidade continental do Cretáceo no Brasil – concepções baseadas em dados micropaleontológicos, isotópicos e estratigráficos. **Revue de Paléobiologie** 20 (1), 245-304.

FERNANDES, L.A. **Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil)**. São Paulo, 1998. 216 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

FERNANDES, L.A. 2010. Calcretes e registros de paleossolos em depósitos continentais neocretáceos (Bacia Bauru, Formação Marília). **Revista Brasileira de Geociências** 40, 19-35.

FERNANDES, L.A. ; BASILICI, GIORGIO . 2009. Transition of ephemeral palustrine to aeolian deposits in a continental arid-semi-arid environment (Upper Cretaceous Bauru Basin). **Cretaceous Research**, v. 30, p. 605-614.

FERNANDES, L. A., COIMBRA, A. M. Revisão Estratigráfica da Parte Oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo) – *Revista Brasileira de Geociências*, v. 30 n.o 4, p. 717-728, 2000.

FERREIRA Jr., P. D. **Modelo Depositional e Evolução Diagenética da Formação Uberaba, Cretáceo Superior da Bacia do Paraná, na Região do Triângulo Mineiro.** 1996. 175p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 1996.

FERREIRA Jr., P. D. & GUERRA, W. J. Estudo Preliminar sobre o Ambiente Depositional da Formação Uberaba *In: Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 7 e Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 4*, Belo Horizonte, 1993. *Anais...* Belo Horizonte, SBG/MG. P. 17-21

GARRIDO, A. E.; FERREIRA, A. M.; GARCIA, A. J. V. 1992. Estratigrafia e Sedimentologia do Grupo Bauru em Peirópolis, Município de Uberaba, Minas Gerais. In: 6.o Simpósio de Geologia de Minas Gerais, Ouro Preto, 1991. *Revista da Escola de Minas*, v. 45, p. 112-114.

GILE, L.H., PETERSON, F.F., GROSSMAN, R.B. 1966. Morphological and genetic sequences of carbonate accumulation in desert soils. *Soil Science*, 101: 347-354.

GOBBO, S. R. ; SANTUCCI, Rodrigo Miloni ; BERTINI, R. J. 2001. Considerações sobre a idade da Formação Marília (Grupo Bauru, Cretáceo Superior) na região de Peirópolis, Estado de Minas Gerais. In: XVII Congresso Brasileiro de Paleontologia, 2001, Rio Branco, AC. *Boletim de Resumos do XVII Congresso Brasileiro de Paleontologia*. Rio Branco, AC: Editora da Universidade Federal do Acre, v. 1. p. 48-48.

GOLDBERG, K. **Reconstituição Paleoambiental do Cretáceo Continental Brasileiro na região do Triângulo Mineiro.** 1995, 181p. Dissertação de Mestrado, Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo – Rio Grande do Sul (RS), 1995.

GOLDBERG, K.; GARCIA, A. J. V. 1994. Faciologia dos Calcários do Grupo Bauru na Região de Uberaba, MG. In: Simpósio Sobre o Cretáceo do Brasil, 3, Rio Claro, SP, Brasil. Boletim...Rio Claro, Unesp, p. 91-92.

GOLDBERG, K. ; GARCIA, A. J. V. 2000. Palaeobiogeography of the Bauru Group, a dinosaur-bearing Cretaceous Unit, Northeastern Parana Basin, Brazil. **Cretaceous Research** (Print), v. 21, p. 241-254.

GONZAGA DE CAMPOS, L. F. Jazidas Diamantíferas de Água Suja (Bagagem) Estado de Minas Gerais. Typ. Ed. Fluminense, Rio de Janeiro (RJ), 1891.

HASUI, Y. 1967. **Geologia das Formações Cretáceas do Oeste de Minas Gerais.** São 1967. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

HASUI, Y. 1969. O Cretáceo do Oeste Mineiro Bol. da Soc. Bras. e Geol. (São Paulo), v. 18, n.o 1, p. 39-56.

HUSSAK, E. 1891. Notícia dos Minerais das Areias Diamantíferas da Bagagem de Água Suja. Typ. Da Cia Ed. Fluminense, Rio de Janeiro, p. 21-25.

HUSSAK, E. 1894. Sobre a Estrutura Geológica da Região do Estado de Goiás, Examinada pela Comissão Exploradora do Planalto Central, Parte II. Rio De Janeiro, H. Lamberts & Cia, ed.

IPT. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Divisão de Minas e Geologia Aplicada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Public. IPT n.o 1184, 1981. v. I. Nota explicativa e volume II, Mapas em escala 1:500000.

KHORMALI, F., ABTAHI, A., 2003. Origin and distribution of clay minerals in calcareous arid and semi-arid soils of Fars Province, southern Iran. *Clay Minerals* 38, 511–527.

- KHORMALI, F., ABTAHI, A., MAHMOODI, S., STOOPS, G., 2003. Argillic horizon development in calcareous soils of arid and semiarid regions of southern Iran. *Catena* 53, 273–301.
- LADEIRA, E. A.; BRAUN, O. P. G.; CARDOSO, R. N.; HASUI, Y. O Cretáceo em Minas Gerais. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 25, São Paulo, 1971. *Anais...São Paulo, SBG*. v. 1, p. 15-31.
- MAYNARD, J.B., 1992. Chemistry of modern soils as a guide to interpreting Precambrian paleosols. *Journal of Geology* 100, 279–289.
- MCCARTHY, P. J. & PLINT, A. G. 1998. Recognition of interfluvial sequence boundaries: integrating paleopedology and sequence stratigraphy. *Geology*, 26: 387-390.
- MACHETTE, M.N., 1985. Calcic soils of the southwestern United States. In: Weide, D.L. (Ed.), *Soils and Quaternary Geology of the Southwestern United States*, 203. Geological Society of America Special Paper, pp. 1–21.
- NESBITT, H.W., YOUNG, G.M., 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature* 299, 715–717.
- PAQUET, H. & MILLOT, C. 1972. Geochemical evolution of clay minerals in the weathered products and soils of Mediterranean climates. In: *INTERNATIONAL CLAY CONFERENCE. Proceedings...* Madrid, Spain, p. 199-202.
- PIMENTEL, N.L.; WRIGHT, V.P.; AZEVEDO, T.M. 1996. Distinguishing early groundwater alteration effects from pedogenesis in ancient alluvial basins: examples from the Palaeogene of southern Portugal. ***Sedimentary Geology***, v. 105, p. 1-10.

PRICE, L. I. (a) Os Crocodilídeos da Fauna da Formação Bauru do Cretáceo Terrestre do Brasil Meridional. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 22, n.o 4, p. 473-490, 1950.

PRICE, L. I. (b) On a new Crocodylian Sphagaesaurus From Cretaceous of the State of São Paulo, Brasil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 22, n.o 1, p. 77-83, 1950.

PRICE, L. I. Novos Crocodilídeos dos Arenitos da Série Bauru, Cretáceo do Estado de Minas Gerais. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 27, n.o 4, p. 487-498, 1955.

PRICE, L. I. Os Quelônios da Formação Bauru Cretáceo Terrestre do Brasil Meridional. Bol. D.G.M. DNPM, Rio de Janeiro, v.147, p. 1-39, 1953.

REHEIS, M.C. 1987. Climatic implications of alternating clay and carbonate formation in semiarid soils of south-central Montana. Quaternary Research 27, 270–282.

RETALLACK, G.J. 1990. Soils of the past: an introduction to paleopedology. Unwin Hyman, London, 520 pp.

RETALLACK, G.J., 1998. Core concepts of paleopedology. Quaternary International 51/52, 203–212.

RETALLACK, G.J., 2001. Soils of the Past: An Introduction to Paleopedology. Allen and Unwin, London, pp. 520.

RETALLACK, G.J. 2007. Cenozoic paleoclimate on land in North America. **Journal of Geology**, v. 115, p. 271-294.

RIBEIRO, D. T. P. & GOMES, N. S. Aspectos Diagenéticos das Rochas do Membro Serra da Galga, Formação Marília, Cretáceo da Bacia do Paraná no Triângulo Mineiro. *In*: Congresso Brasileiro de Geologia, 39, Salvador, 1996. Anais... Salvador, SBG/Núcleo BA/SE, v. 1, p. 184 – 186.

RICCOMINI, C. **Tectonismo Gerador e Deformador dos Depósitos Sedimentares Pós-Gondwânicos da Porção Centro-Oriental do Estado de São Paulo e Áreas Vizinhas.** 1995. 100p. Tese de Livre-Docência, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 1995.

RICCOMINI, C., 1997. Arcabouço estrutural e aspectos do tectonismo gerador e deformador da Bacia Bauru no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências** 27 (2), 153-162.

SAD, J. H. G.; CARDOSO, R. N.; COSTA, M. T. 1971. Formações Cretácicas em Minas Gerais: Uma Revisão. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 1, n.o 1, p. 2-13.

SANTUCCI, R.M.; BERTINI, R.J. 2001. Distribuição paleogeográfica e biocronológica dos Titanossauros (Saurischia, Sauropoda) do Grupo Bauru, Cretáceo Superior do sudeste brasileiro. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, n. 3, p. 307-314.

SHELDON, N.D., 2003. Pedogenesis and geochemical alteration of the Picture Gorge subgroup, Columbia River Basalt, Oregon. *Geological Society of America Bulletin* 115, 1377–1387.

SHELDON, N.D., 2005. Do red beds indicate paleoclimatic conditions?: a Permian case study. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 228, 305–319.

SHELDON, N.D., TABOR, N.J., 2009. Quantitative paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction using paleosols. **Earth-Science Reviews** 95, 1-52.

- SHELDON, N.D., RETALLACK, G.J., TANAKA, S., 2002. Geochemical climofunctions from North American soils and application to paleosols across the Eocene–Oligocene boundary in Oregon. *Journal of Geology* 110, 687–696.
- SILVA, R.B.; ETCHEBEHERE, M.L.C.; SAAD, A.R., 1994. Groundwater calcretes: uma interpretação alternativa para os calcários da Formação Marília no Triângulo Mineiro. In: Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, 3, Rio Claro, Boletim, pp. 81-84.
- SOIL SURVEY STAFF, 1999. Soil Taxonomy, 2nd edition. U.S Department of Agriculture, Natural Resource Conservation Service 4362, Washington, DC.
- SOARES, P. C., LANDIM, P. M. B., FULFARO, V. J., SOBREIRO NETO, A. F. 1980. Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. *Rev. Bras. Geoc.*, (São Paulo), v.10, n.o 3, p. 177-185.
- SUGUIO, K., 1973. Formação Bauru. Calcários e sedimentos detríticos associados. Unpublished Livre Docência Thesis, Universidade de São Paulo, pp. 236.
- SUGUIO, K. Fatores Paleoambientais e Paleoclimáticos, e Subdivisão Estratigráfica do Grupo Bauru - In: Mesa Redonda; A Formação Bauru no Estado de São Paulo e Regiões Adjacentes, São Paulo, 1980. Coletânea de trabalhos e debates. São Paulo: SBG, p. 15-30 (Publicação Especial, 7).
- SUGUIO, K., BARCELOS, J. H. Calcretes of the Bauru Group (Cretaceous) Brazil: Petrology and Geological significance. *Bol. IG (São Paulo)*, v. 14, p. 31-47, 1983.