
Índices de intemperismo e evolução dos paleossolos da Formação Marília, Maastrichtiano da *Bacia neocretácea Bauru*

Márcio Luiz da Silva^{1,2}
Alessandro Batezelli²
Francisco Sergio Bernardes Ladeira³

¹Instituto Federal Sul de Minas Gerais
marcgeo10@yahoo.com.br

²Departamento de Geologia e Recursos Naturais
Universidade Estadual de Campinas
abatezelli@ige.unicamp.br

³Departamento de Geografia
Universidade Estadual de Campinas
fsbladeira@ige.unicamp.br

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo determinar o índice de intemperismo médio (m), de alteração geoquímica (CIA-K) e de morfologia (MI) para avaliar o grau de evolução dos paleossolos da Formação Marília, Maastrichtiano da Bacia Bauru. Foram descritas três seções da Formação Marília (A1, A2 e A3), compreendendo nove perfis. Na caracterização das seções, horizontes carbonáticos (Bkm) e argílicos (Btkm e Bt) foram identificados nos paleossolos da área de estudo. Os índices de intemperismo médio, de alteração geoquímica e de morfologia foram determinados para os horizontes dos paleossolos, de acordo com a literatura especializada. Os paleossolos com horizonte Bt foram os mais intemperizados, indicativos de períodos com maiores taxas de precipitação e lixiviação no Maastrichtiano da Bacia Bauru. Os paleossolos com horizonte Bkm apresentaram os menores índices sendo, portanto, testemunhos de períodos de maior semiaridez da Formação Marília. No entanto, apesar de apresentarem baixos índices, os paleossolos com Bkm podem ser considerados evoluídos em condições semiáridas, pois apresentaram estágios de cimentação carbonática III e V.

Palavras-chave: geoquímica, horizontes Bkm, Btkm e Bt, mineralogia de solos

Abstract

This study aims to determine the average weathering index (m), alteration geochemistry (CIA-K) and morphology (MI) to assess the degree of development of paleosols of Marília Formation, Maastrichtian of Bauru Basin. There have been described three sections (A1, A2 and A3) at the Marília Formation, comprising nine profiles. Carbonate horizons (Bkm) and argillic (Btkm and Bt) have been identified to characterize the paleosols of the study area. The average rates of weathering, geochemical alteration and morphology were determined for the horizons of paleosols, according to the literature. The paleosols with Bt horizon were the most weathered, indicative of periods with higher precipitation rates and leaching, in the Maastrichtian of the Bauru Basin. The paleosols with Bkm horizon had the lowest weathering rates and are therefore witnesses of times of higher semiarid conditions of the Marília Formation. However, despite having lower weathering rates, the paleosols with Bkm can be considered evolved in semi-arid conditions, as they present stages of carbonate cementation III and V.

Keywords: geochemistry, Bkm, Btkm and Bt horizons, soil mineralogy

1. INTRODUÇÃO

O estudo dos paleossolos, definidos como solos que se formaram em uma paisagem pretérita (Wright 1986), é o objetivo fundamental da paleopedologia, uma disciplina que embora tenha origem vinculada e derivada da pedologia, já alcançou o nível de uma ciência independente (Andreis, 1981). Essa ciência, interdisciplinar por excelência, tem por objeto solos soterrados e/ou incorporados a sequências sedimentares, ou ainda solos desenvolvidos em superfícies de relevo pretéritas (Andreis, 1981) e que, embora mantidos em superfície e influenciados por mudanças ambientais posteriores (Retallack, 2001), evidenciam antigos ambientes e contêm registros a respeito de clima, cobertura vegetal, formas de relevo, intensidade da pedogênese e taxas de sedimentação vigentes durante sua formação (Wright 1992; Kraus, 1992).

Como o solo é a memória da paisagem (Tergulian & Goryachkin, 2004), constituindo-se em um sistema aberto capaz de registrar as condições ambientais durante sua formação (Jenny, 1994; Buol et al., 1997; Breemen & Buurman, 2002), a definição do seu grau de intemperismo permite inferir as condições ambientais na qual esse evoluiu. Nesse sentido, diversos índices, como de intemperismo médio (m), de alteração geoquímica (CIA-K) e de morfologia (MI) têm sido utilizados para determinar o grau de desenvolvimento de solos e paleossolos (Jackson, 1969; Sheldon et al., 2002; Kraus et al., 2013). O índice de intemperismo médio (m) se baseia na resistência dos minerais da fração argila frente ao processo de intemperização, enquanto o índice geoquímico (CIA-K) mede grau de lixiviação dos elementos no ambiente pedológico.

Os minerais variam em sua resistência ao intemperismo e alguns se intemperizam muito rapidamente (10^3 anos), enquanto outros o fazem bem devagar (10^5 a 10^6 anos) de modo que persistem por vários ciclos sedimentares (Birkeland, 1999). A resistência dos minerais ao intemperismo depende, essencialmente, da sua composição química, tamanho e estrutura (Fontes, 2012). Através da sequência de estabilidade dos minerais da fração areia e silte frente ao intemperismo, proposta por Goldich (1938), foi possível postular que os primeiros minerais formados são os mais susceptíveis ao intemperismo, enquanto os últimos a se

formarem são os mais resistentes (Fontes, 2012). No entanto, Kämpf et al. (2009) ressaltam que a estabilidade de um mineral não depende somente das suas características estruturas, mas também do processo de intemperização atuante no ambiente em que está inserido, bem como do tamanho de partícula (área superficial do cristal). Segundo os autores, à medida que os solos evoluem, sua composição mineral começa a depender mais do ambiente de intemperização do que da composição do seu material de origem. Por essa razão, as associações de argilominerais nos solos são consideradas indicadoras do grau de desenvolvimento do solo (Kämpf et al., 2009). Com a evolução dos estudos mineralógicos, principalmente da fração coloidal dos solos, foi possível perceber que a fração argila não se intemperizava de acordo com os conceitos já provados, isto é, de acordo com a série de estabilidade de Goldich (1938). Baseado nessas considerações, Jackson (1969) introduziu na ciência do solo as bases de uma seqüência de intemperização para os minerais da fração argila, constituídas por 13 estádios, em ordem crescente de estabilidade.

Recentemente, Sheldon et al. (2002) propuseram o índice CIA-K, para avaliar o grau de alteração química em paleossolos. O índice químico de alteração sem potássio (CIA-K) 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 a diminuição dos valores da perda de base. Altos valores de CIA-K refletem, conseqüentemente, altos valores de precipitação, indicando que esses solos foram, portanto, submetidos a intensos processos de alteração química.

Kraus et al. (2013), baseados em características e propriedades morfológicas, elaboraram o índice de morfologia (MI) para identificar paleossolos com maior ou menor grau de umidade, indicativo das condições de drenagem e processos intempéricos no solo. O índice varia de 0 (mais úmido) a 18 (mais seco).

Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi determinar o índice de intemperismo médio (m), de alteração geoquímica (CIA-K) e morfologia do solo (MI) para avaliar o grau de evolução dos paleossolos da Formação Marília, Maastrichtiano da Bacia Bauru.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO E ESTRATIGRÁFICO DA BACIA BAURU E ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Bauru situada no sudeste brasileiro ocupa uma área de aproximadamente 330.000 km², abrangendo o centro-oeste de São Paulo, nordeste do Mato Grosso do Sul, sudeste do Mato Grosso, sul de Goiás e oeste de Minas Gerais (Figura 1). Essa bacia possui formato

praticamente elítico alongado na direção norte/nordeste, sendo constituída principalmente por depósitos siliciclásticos continentais (Batezelli 2003, 2015).

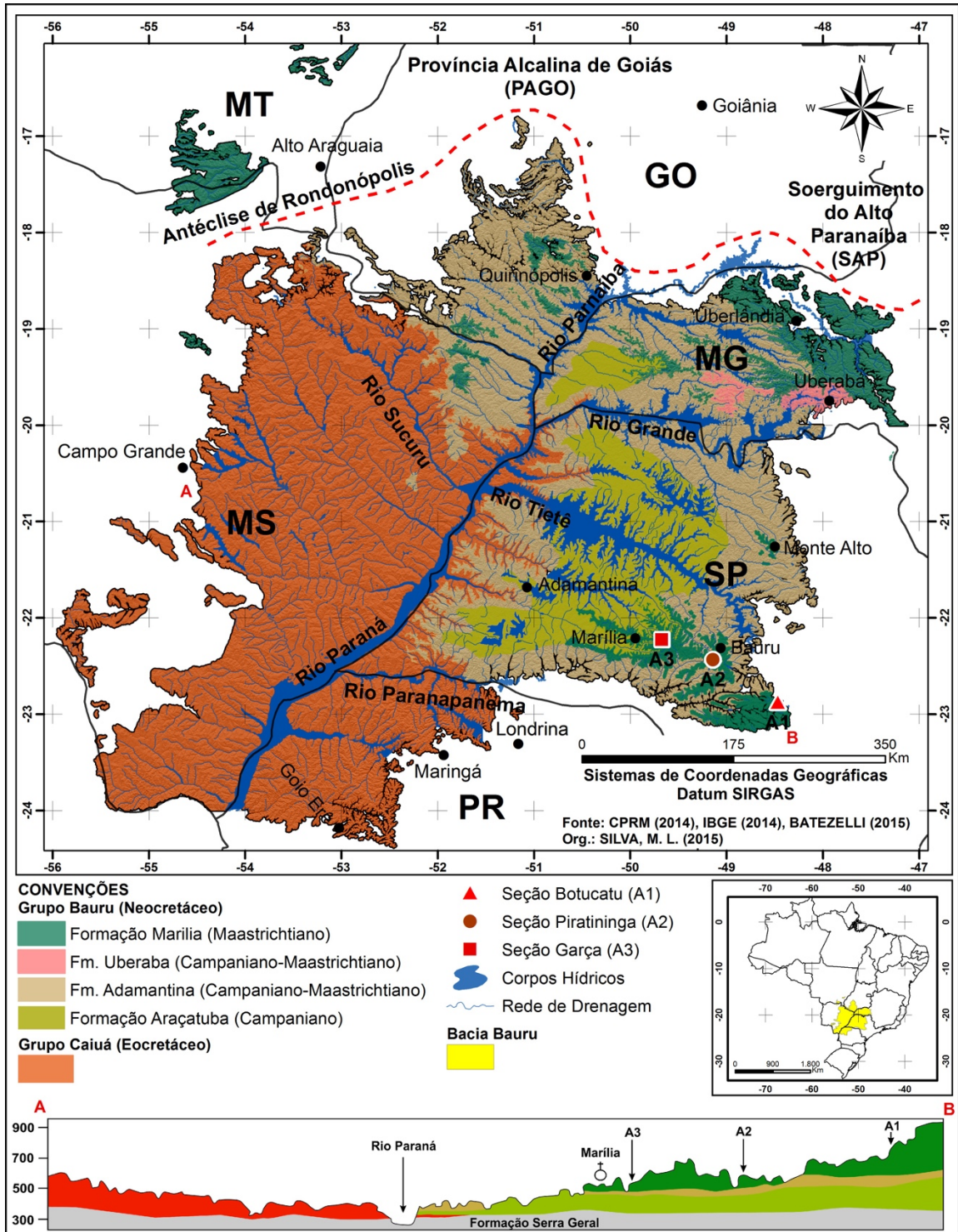


Figura 1. Mapa litostratigráfico da Bacia Bauru e área de estudo.

De acordo com Batezelli (2003, 2015), os processos erosivos responsáveis pela atual configuração dos limites da Bacia Bauru estão relacionados ao evento de reestruturação tectônica do Terciário, marcado em sua borda oriental pelo levantamento da Serra do Mar e soerguimento do Alto Paranaíba.

A origem da bacia intracratônica Bauru, desenvolvida acima das efusões basálticas (Formação Serra Geral), é considerada ser ligada à subsidência termal por causa da enorme espessura dos basaltos, sendo que a parte mais espessa da sucessão está localizada em cima do depocentro da Formação Serra Geral (Riccomini 1995, 1997). Segundo Fernandes & Coimbra (1996) e Fernandes (2004), a Bacia Bauru formou-se no início do Neocretáceo, após a ruptura do continente gondwânico, no centro-sul da Plataforma Sul-Americana. Fernandes (2004) salienta que a bacia acumulou uma seqüência sedimentar predominantemente arenosa, em clima semi-árido a árido, que hoje tem cerca de 300 m de espessura máxima preservada.

Segundo Batezelli (2015) a Bacia Bauru se desenvolveu no Cretáceo Superior na pós-ruptura do continente gondwânico, e seu preenchimento ocorreu em clima com variações entre semi-árido e árido, entre o Campaniano e o Maastrichtiano.

Através da análise de fácies, elementos arquitetônicos e paleocorrentes, Batezelli et al. (2007) concluíram que os depósitos do Grupo Bauru foram formados a partir de fluxos unidirecionais e gravitacionais de alta energia, associados a porções proximais e intermediárias de leques aluviais dominados por rios entrelaçados (sensu Stanistreet & McCarthy 1993) ou Sistemas Fluviais Distributivos (sensu Hartley et al. 2010) advindos do norte e nordeste.

A Bacia Bauru é dividida em dois grupos: Grupo Caiuá e Grupo Bauru (Figuras 1 e 2). Todavia, existem dois diferentes pontos de vista sobre a posição litoestratigráfica desses dois grupos. Autores como Fernandes & Coimbra (1996, 2000) e Fernandes (2004) sustentam que os dois grupos são contemporâneos. Outros autores (Fulfaro & Perinotto 1996; Paula e Silva et al. 2005; Batezelli, 2010, 2015) colocam o Grupo Caiuá na porção inferior da bacia, separado do Grupo Bauru por uma discordância estratigráfica, sinalizada por um paleossolo muito evoluído (Geossolo Santo Anastásio) apontado por Fulfaro et al. (1999). Estudos recentes realizados por Batezelli et al. (2007) e Batezelli

(2010, 2015) demonstraram que dois grupos não são contemporâneos (Figura 2), solucionando as controvérsias sobre a estratigrafia da bacia.

Conforme Batezelli (2003, 2010, 2015), o Grupo Bauru no Estado de São Paulo é composto da base para o topo pelas formações Araçatuba, Adamantina (Vale do Rio do Peixe) e Marília (Membro Echaporã). Esse autor afirma que a Formação Araçatuba foi formada em ambiente lacustre que atuava como nível de base recebendo sedimentos do sistema fluvial (gerador da Formação Adamantina), e que em determinado momento foi colmatado. A colmatação ocorreu pelo avanço progracional de um sistema aluvial dominando por rios entrelaçados que deu origem à Formação Marília.

A evolução sedimentar desse sistema aluvial foi marcada por períodos de sedimentação fluvial e retrabalhamento eólico, intercalados com períodos de não deposição (Batezelli 2010, 2015). Durante os momentos de parada na sedimentação a planície aluvial seria tomada por vegetação e desenvolvimento de solos. Dessa forma, a Formação Marília é constituída por uma sucessão de depósitos e paleossolos que registram eventos de sedimentação e pedogênese durante o Maastrichtiano da Bacia Bauru.

Na Formação Marília os paleossolos apresentam horizontes argílicos (Btk e Bt) e carbonáticos (Bk) com distintos graus de cimentação, constituindo-se calcretes em sua maioria. Segundo Suguio & Barcelos (1983b) a maioria das rochas carbonáticas encontradas nas unidades da Bacia Bauru, principalmente na Formação Marília, são calcretes, que constituem depósitos relacionados a horizontes edáficos com cimento, nódulos e crostas carbonáticas. Para Fernandes (2010) a existência de estruturas de rizólitos nos calcretes da Formação Marília é um indicativo de condições paleoambientais propícias ao desenvolvimento de horizontes edáficos, indicando baixa taxa de sedimentação. Ao redor destas raízes são comumente encontrados carbonatos precipitados. Esses se originam a partir da retirada da água pelas raízes, aumentando a saturação e favorecendo a precipitação do CaCO_3 (Fernandes, 2010). A distribuição irregular e diferentes espessuras dos perfis estão relacionadas ao tipo de substrato (material parental), condições hidrológicas, topográficas e biológicas, bem como, o tempo de exposição dos depósitos aos agentes intempéricos.

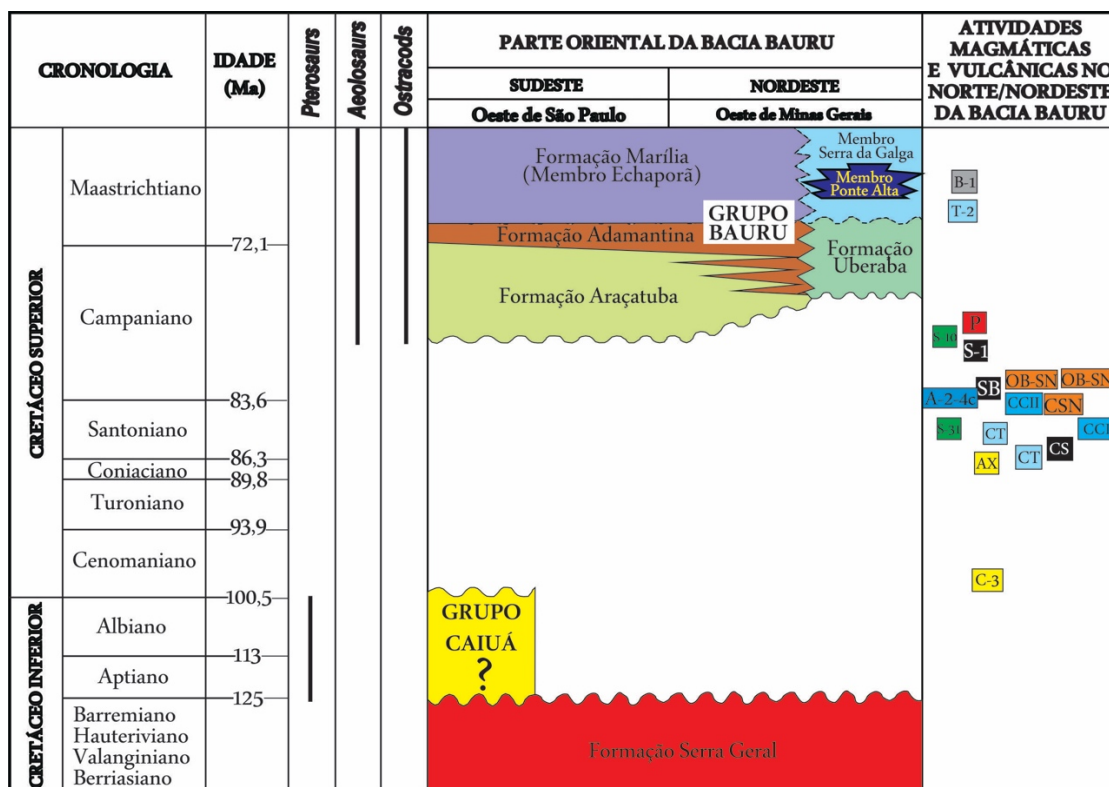


Figura 2. Carta cronoestratigráfica do Cretáceo da porção oriental da Bacia Bauru, com base em Amaral et al. 1967 (amostra CSN); Hasui & Cordani 1968 (amostras AX, C-3, S-10, S-31, A-C2-4, OB-SN, SB, S-1, P, T-2, B-1); Sonoki & Garda 1988 (amostras CT, CS, CCI); Machado Junior 1992 (amostra CCII); Guimarães et al. 2012 e Fragoso et al. 2013 (pterossauros); Gobbo-Rodrigues 2001 e Dias-Brito et al. 2001 (ostrácodos); Santucci & Bertini 2001 e Martinelli et al. 2011 (allosaurus). Fonte: Batezelli (2015).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Na caracterização em campo foi identificado estrutura, horizonte e marcas de raízes, os três principais atributos de reconhecimento de paleossolos (Andreis, 1981; Retallack, 1988; Catt, 1990; Retallack, 2001). Para a definição dos horizontes, foram utilizadas características como textura, estrutura, cor, espessura e profundidade dos horizontes, tipos de contatos entre horizontes de paleossolos e sedimentos, presença, tipo e dimensões de agregados (*peds*), presença e tipo de películas (*cutans*), presença e tipo de nódulos ou cimentação, bioturbações, presença ou não de mosqueamento (*mottling*), tipo, forma e percentual de traços de raízes, presença ou não de gleização e de superfícies de fricção (*slickensides*).

Foram descritas três seções (A1, A2 e A3) da Formação Marília (Figura 1) e coletada amostras de nove perfis. Horizontes carbonáticos (Bkm) e argílicos (Btkm e Bt) foram identificados nos paleossolos da área de estudo. A classificação dos paleossolos com horizonte Bk em estágios morfológicos de acumulação de carbonato seguiu a metodologia

apresentada por Gile et al. (1966), Machette (1985), Birkeland (1999) e Retallack (2001).

Em campo, foram identificadas três litofácies principais (G, F e S) usando critérios descritivos tais como composição, granulometria, seleção e arredondamento dos clastos e estruturas sedimentares, segundo o método de análise de fácies proposto por Miall (1996).

A determinação do índice de morfologia (MI) foi realizada segundo a metodologia proposta por Kraus et al. (2013). Para a determinação da mineralogia foi utilizada a difratometria de raios-X (DRX), refinada posteriormente pelo método Rietveld (Jenkins & Snyder, 1996; Fabris et al., 2009; Pecharsky & Zavalij, 2009). O intemperismo médio (m) foi determinado de acordo com Jackson (1969).

O índice de alteração química sem potássio (CIA-K) foi calculado segundo Sheldon et al. (2002), após a determinação dos elementos maiores, menores e traços por espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na caracterização morfológica foram identificados paleossolos com horizonte Bkm e estrutura em blocos na seção Botucatu (A1), horizontes argílicos (Btkm e Bt) com estrutura prismática e em blocos na seção Piratininga (A2) e horizontes Btkm e Bkm na seção Garça (A3), com estruturas laminar, em blocos e prismática (Figura 3). A identificação desses horizontes corrobora os trabalhos desenvolvidos por Basilici et al. (2009) e Dal'Bó & Basilici (2010). As características argílicas (Bt, Btkm) e carbonáticas (Bkm) dos horizontes foram confirmadas em nível micromorfológico, pois apresentaram atributos predominantemente pedogênicos (Wright & Tucker, 1991; Pimentel et al., 1996; Kosir, 2004; Dal'Bó & Basilici 2010; Stoops et al., 2010).

Os índices de intemperismo médio (m), de alteração geoquímica (CIA-K) e morfologia (MI) apresentaram variações ao longo dos perfis nas três seções (Tabela 1, Figura 4). Esses índices foram determinados somente para os horizontes subsuperficiais, por serem os últimos a se desenvolver e representarem melhor a condições ambientais dos paleossolos da Formação Marília.

Os paleossolos da Seção Botucatu (A1) são os menos intemperizados, seguido pelos da Seção Garça (A3) e da Seção Piratininga (A2), que apresentaram os maiores índices intemperismo médio (Tabela 1, Figura 4). Paleossolos com horizonte Bkm foram os menos intemperizados e os com horizonte Btkm

e Bt apresentaram variações quanto ao grau de intemperismo. Entretanto o horizonte Bt2 do perfil 5 foi o que apresentou o maior índice de intemperismo (Tabela 1, Figura 4). Vale ressaltar, no entanto, que nesse contexto da intemperização de minerais, a evolução do solo não está relacionada com a idade temporal, mas com a quantidade de água que lixiviou através do perfil do solo (Kämpf et al., 2009).

Quanto ao índice de alteração geoquímica (CIA-K), esse revelou que os paleossolos mais intemperizados e lixiviados são os da Seção Piratininga (A2) e os com as menores perdas de bases, os da Seção Botucatu (A1) (Tabela 1, Figura 4). O horizonte Bt2 do perfil 5 foi também o que apresentou o maior índice de alteração química (85,709), sendo, portanto, o mais lixiviado, indicativo do maior grau de drenagem e precipitação (Tabela 1, Figura 4). Os menores valores de CIA-K ocorrem em solos de áreas de baixa pluviosidade, devido ao acúmulo de cálcio e magnésio nos horizontes Bk. O horizonte Bkm2 apresentou o menor valor (3,332), evidenciando um ambiente mais seco, com alta concentração de carbonato (Tabela 1, Figura 4). O desenvolvimento de horizontes carbonáticos no solo está fortemente dependente da disponibilidade de umidade. Climas sazonalmente secos com precipitação média anual de 100 a 500 mm são mais propícios para a formação de horizontes calcários no solo (Birkeland 1999).

Tabela 1. Índice médio de intemperismo (m), de alteração geoquímica (CIA-K) e de morfologia (MI) dos horizontes Bt, Bkm e Btkm dos paleossolos da Formação Marília, Bacia Bauru

A	PH	(%)								Total	Índice m	Índice CIA-K	MI
		Calcita	Quartzo	P	M	N	S	H					
1	P1Bkm1	60,3	22,2	17,5						100	4,113	7,186	10
1	P1Bkm2	73,9	16,5	9,6						100	3,332	3,326	10
2	P4Bt1		70,2	9,8		20				100	5,894	82,799	8,5
2	P5Bt1		79,2	20,1	0,7					100	6,624	85,11	10
2	P5Bt2		61,1	12,6			26,3			100	7,167	85,709	10
2	P7Bt1	33,8	43	22,7				0,5		100	5,349	18,831	10
3	P8Bkm1	54,1	34	11,9						100	4,193	7,574	10
3	P8Bkm2	37,4	44,2	18,4						100	5,056	17,238	10
3	P9Btkm	16,1	37,4	27,1			19,4			100	6,751	35,516	8,5

A: Seção; **PH:** Perfil e horizonte do paleossolo; **P:** Paligorskita; **M:** Montmorilonita; **N:** Nontronita; **S:** Saponita; **H:** Halosita; **m:** Índice de intemperismo médio, definido por $m = \sum(\text{ps})/\sum\text{p}$, onde **p** é o teor de um mineral no solo (%) e **s** é o estágio de intemperização do mineral (baseado em Jackson 1969); **CIA-K:** Índice químico de alteração sem potássio, definido por $\text{CIA-K} = 100[\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O})]$, segundo Sheldon et al. (2002); **MI:** Índice de morfologia do solo, resultante da soma do índice cromático (IC) com o índice de propriedades (IP), segundo a metodologia proposta Kraus et al. (2013). O índice MI varia de 0 (mais úmido) a 18 (mais seco).

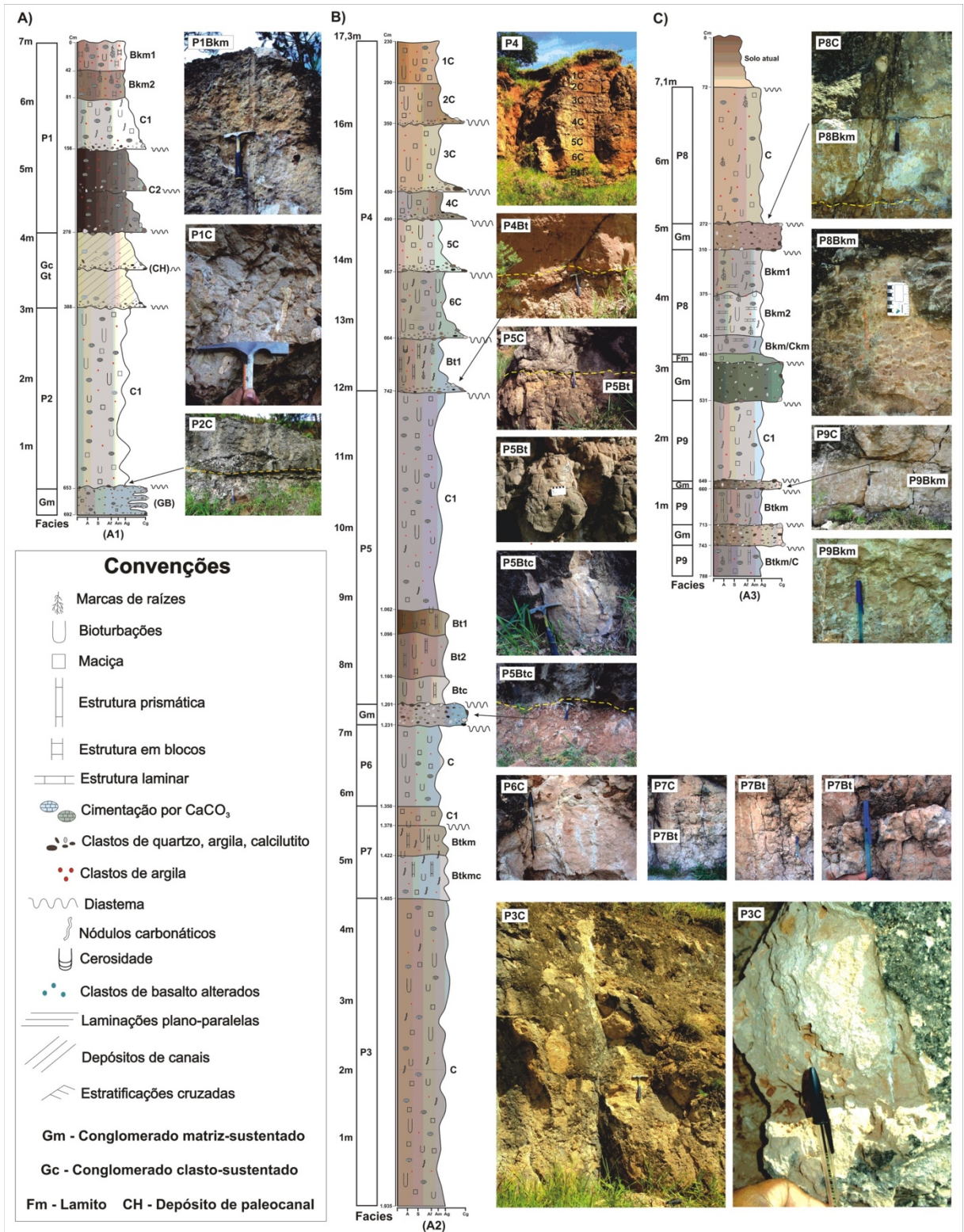


Figura 3. Associação de fácies e feições morfológicas dos perfis de paleossolos. A) Coluna com as litofácies (Gc, Gt, Gm) e pedofácies (P1, P2), e perfis de paleossolos da seção Botucatu (A1) com os respectivos horizontes; B) Coluna com as litofácies (Gm) e pedofácies (P3, P4, P5, P6, P7), e perfis de paleossolos da seção Piratininga (A2) com os horizontes; C) Coluna com as litofácies (Gm, Fm) e pedofácies (P8, P9) da seção Garça (A3) e perfis de paleossolos com os respectivos horizontes.

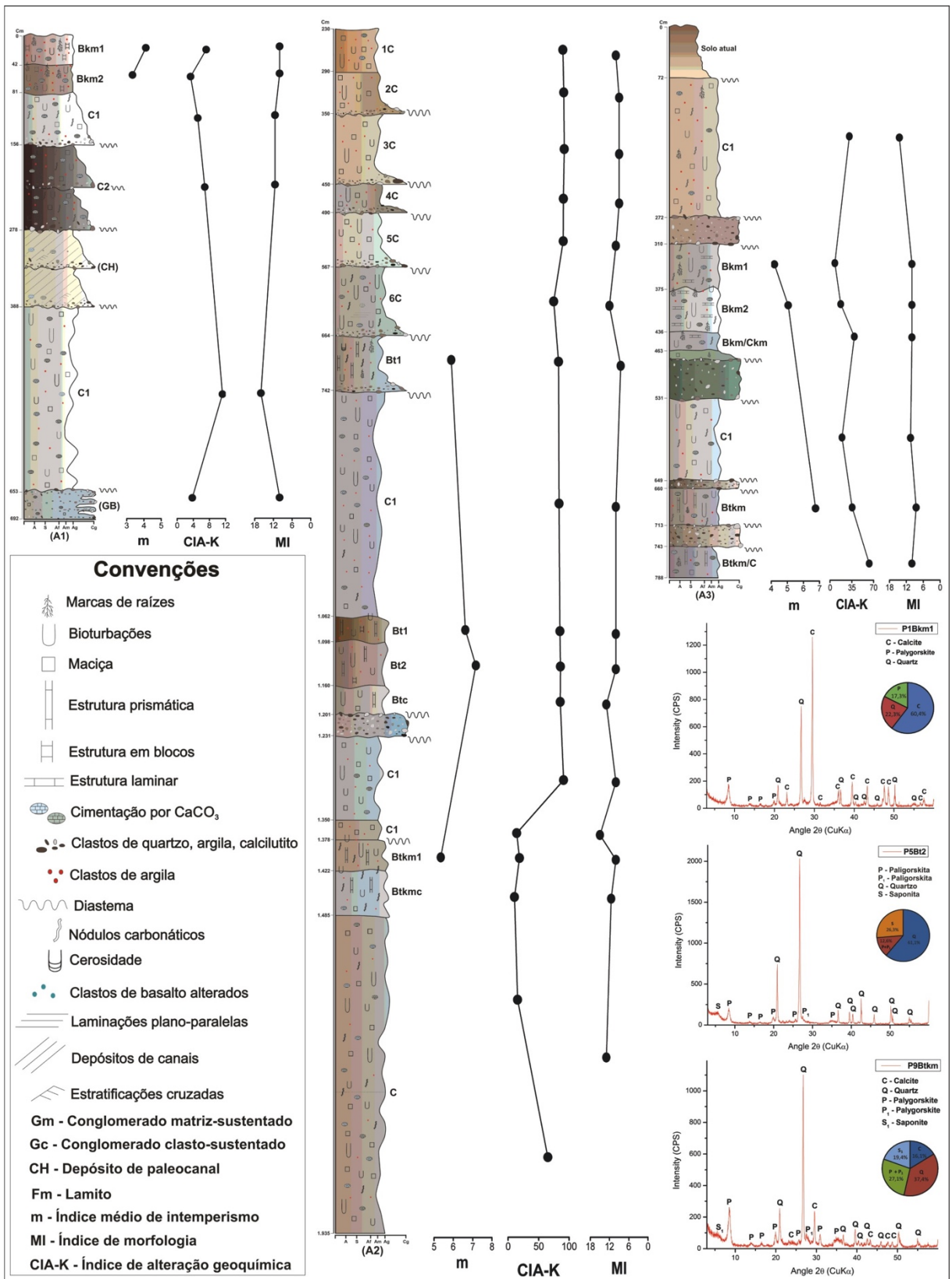


Figura 4. Perfis e índices de intemperismo médio (m), de alteração geoquímica (CIA-K) e de morfologia (MI) dos paleossolos da seção Botucatu (A1), Piratininga (A2) e Garça (A3). Na parte inferior direita há difratogramas representativos dos horizontes Bkm, Btkm e Bt. Os minerais identificados nos difratogramas (esmectitas, calcita, paligorskita e quartzo) corroboram a mineralogia identificada por Suguio & Barcelos (1983) e por Dal'Bó & Basiliaci (2010) na Formação Marília. Em estudos realizados na Formação Marília, Suguio & Barcelos (1983a) descreveram o grupo da paligorskita e da esmectita como sendo os argilominerais frequentes, o que vem ao encontro dos resultados encontrados nessa pesquisa.

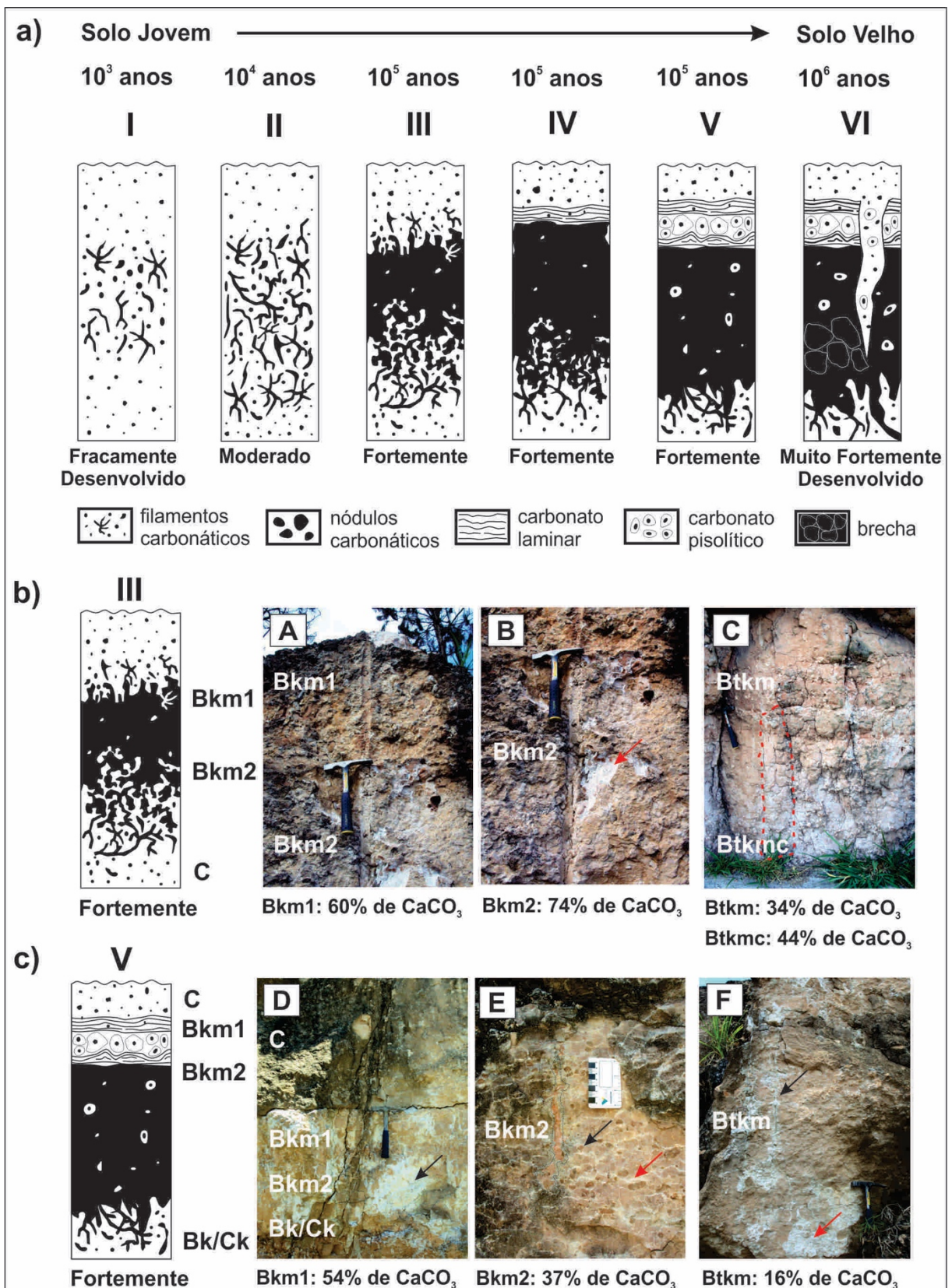


Figura 5. a) Estágios morfológicos de acumulação de carbonatos em paleossolos em sedimentos finos (adaptado de Gile 1966); b) e c) Estágios morfológicos III e V de paleossolos da Formação Marília. A) Horizontes Bkm1 e Bkm2 do perfil 1, com estruturas em blocos; B) Evidência de intensa cimentação no horizonte Bkm2 do perfil 1 (seta vermelha); C) Horizontes Btkm e Btkmc do perfil 7, exibindo estrutura prismática; D) Intensa cimentação nos horizontes do perfil 8; E) Estrutura laminar do horizonte Bkm2 do perfil 8 (a seta vermelha indica canal horizontal ondulado preenchido por carbonatos e a seta preta, um clasto com calcã); F) Horizonte Btkm do perfil 9, com estrutura em blocos (a seta preta indica uma bioturbação preenchida e a vermelha, intensa cimentação carbonática).

Entretanto, apesar de apresentarem baixos índices e serem menos desenvolvidos do que aqueles com horizonte Bt (Tabela 1), os paleossolos com horizonte Bk podem ser considerados evoluídos em condições semiáridas, pois apresentaram estágios de cimentação carbonática III e V (Gile 1966; Machette, 1985; Birkeland, 1999; Retallack, 2001). Através das características morfológicas dos perfis das Seções Botucatu (A1) e Piratininga (A2), os paleossolos com horizonte Bk foram interpretados como tendo o estágio III de desenvolvimento (Figuras 5a e 5b). Esses paleossolos apresentaram um alto grau de desenvolvimento, considerando as condições semiáridas na qual se formaram. Os paleossolos da Seção Garça (A3) apresentaram um grau de evolução maior, com estágio V para os horizontes Bk e Btk (Figura 5c). Os estágios morfológicos interpretados para os perfis com horizonte B indicaram forte estado de desenvolvimento, com tempo relativo de formação subestimado entre 10 a 100 mil anos para os paleossolos (Figuras 5). Esse intervalo de tempo para gênese dos paleossolos é

5. CONCLUSÕES

Paleossolos com horizonte Bt são os mais intemperizados, indicativos de períodos com maiores taxas de precipitação e lixiviação no Maastrichtiano da Bacia Bauru. Os paleossolos com horizonte Bkm apresentaram os menores índices sendo, portanto, testemunhos, vestígios de momentos de maior semiaridez da Formação Marília. No entanto, apesar de apresentarem baixos índices e serem menos desenvolvidos do que aqueles que com horizonte Bt, esses podem ser considerados evoluídos em condições semiáridas, pois

6. AGRADECIMENTOS

Ao apoio do IFSULDEMINAS e ao apoio financeiro do IGE-UNICAMP e da FAPESP (Projeto 2010/19787-2 “Correlação

7. REFERÊNCIAS

Adams, J.S., Kraus, M.J., Wing, S.L. 2011. Evaluating the use of weathering indices for determining mean annual precipitation in the ancient stratigraphic record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **309**: 358–366.

coerente com o tempo estimado para processos de avulsão fluvial em condições de clima árido e semiárido (Field, 2001). Com a mudança dos canais os depósitos ficaram expostos por séculos ou mesmo milhares de anos, e foram submetidos à pedogênese.

O índice de morfologia (MI) dos paleossolos indicou condições de drenagem moderada (Tabela 1, Figura 4) para a maioria dos perfis. Nesse índice, que varia de 0 (mais úmido) a 18 (mais seco), os solos mal drenados possuem índice de morfologia 2, enquanto os mais drenados ou em condições mais secas apresentam a pontuação 18, que é o valor máximo possível (Adams et al., 2011; Kraus et al., 2013). A maior circulação de água no sistema ocorreu nos horizontes Bt1 (perfil 4) e Btkm (perfil 9), que apresentaram índice de morfologia 8,5 (Tabela 1), menor valor dentre todos os horizontes. Segundo o índice de morfologia (MI), nenhum dos perfis de paleossolos da Formação Marília se desenvolveram em condições áridas, visto que nenhum horizonte apresentou o valor máximo do índice.

apresentaram estágios de cimentação carbonática III e V.

A evolução dos paleossolos determinados pelos índices de intemperismo médio e de alteração geoquímica não está relacionada apenas com a idade temporal, mas com a quantidade de água que lixiviou através do perfil durante o processo pedogênico, fato comprovado pelo índice de morfologia.

Contudo, é possível que os paleossolos da Formação Marília registrem paradas na sedimentação da ordem de milhares de anos associados a avulsão aluvial.

Estratigráfica e Paleogeografia do Cretáceo Superior nas Bacias Bauru, Sanfranciscana e dos Parecis”).

Andreis, R.R. 1981. *Identificación e importancia geológica de los paleosuelos*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Basilici, G., Dal’ Bó, 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.

- Batezelli, A. 2003. Análise da sedimentação cretácea no Triângulo Mineiro e sua correlação com áreas adjacentes. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 183 p.
- Batezelli, A. 2010. Arcabouço tectono-estratigráfico e evolução das bacias Caiuá e Bauru no Sudeste brasileiro. *Revista Brasileira de Geociências*, **40**: 265-285.
- Batezelli, A. 2015. Continental systems tracts of the Brazilian Cretaceous Bauru Basin and their relationship with the tectonic and climatic evolution of South America. *Basin Research*, **27**: 1-25.
- Batezelli, A., Saad, D.A.R., Basilici, G. 2007. Arquitetura deposicional e evolução da seqüência aluvial neocretácea da porção setentrional da Bacia Bauru, no sudeste brasileiro. *Revista Brasileira de Geociências*, **37**: 163-181.
- Birkeland, P.W. 1999. *Soil and geomorphology*. Oxford University Press, New York, 430 pp.
- Breemen, N.V. & Buurman, P. 2002. *Soil formation*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 393 pp.
- Buol, S.W., Hole, F.D., McCracken, R.J., Southard, R.J. 1997. *Soil genesis and classification*. Iowa State University Press, Ames, 527 pp.
- Catt, J.A. 1990. *Paleopedology manual*. Pergamon, Great Britain.
- Dal' Bó, P.F.F. & Basilici, G. 2010. Estimativas de paleoprecipitação e gênese de feições cálcicas e argílicas em paleossolos da Formação Marília (Neocretáceo da Bacia Bauru). *Geociências*, **29(1)**: 33-47.
- Fabris, J.D., Viana, J.H.M., Schaefer, C.E.G.R., Wypych, F., Stucki, J.W. 2009. Métodos físicos de análise em mineralogia do solo. In: V.F. Melo, L.R.F. Alleoni (eds.) *Química e mineralogia do solo*. Parte I – Conceitos básicos. SBCS, Viçosa, p.: 611-695.
- Fernandes, L.A. 2010. Calcretes e registros de paleossolos em depósitos continentais neocretáceos (Bacia Bauru, Formação Marília). *Revista Brasileira de Geociências*, **40(1)**: 19-35.
- Fernandes, L.A. 2004. Mapa litoestratigráfico da parte oriental da Bacia do Bauru (PR, SP, MG), escala 1:1.000.000. *Boletim Paranaense de Geociências*, **55**: 53-66.
- Fernandes, L.A., Coimbra, A.M. 1996. A Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil), Anais da Academia Brasileira de Ciências, pp. 195-205.
- Fernandes, L.A., Coimbra, A.M. 2000. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). *Revista Brasileira de Geociências*, **30(4)**: 717-728.
- Field, J. 2001. Channel avulsion on alluvial fans in southern Arizona. *Geomorphology*, **37**: 93-104.
- Fontes, M.P.F. 2012. Intemperismo de rochas e minerais. In: N. Curi, J. C. Ker, C. E. Schaefer, P. Vidal-Torrado (eds.) *Pedologia: fundamentos*. SBCS, Viçosa, p.: 171-205.
- Fulfaro, V.J., Etchebehere, M.L.D.C., Perinotto, J.A.J., Saad, A.R. 1999. Santo Anastácio: um geossolo cretácico na Bacia Caiuá, Simpósio sobre o cretáceo do Brasil, 5, Simposio sobre el Cretacico de América del Sur, 1. Unesp, Serra Negra, pp. 125-130.
- Fulfaro, V.J., Perinotto, J.A.J. 1996. A Bacia Bauru: estado da arte. *Boletim do 4º Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil*: 297-303.
- 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.
- Goldich, S.S. 1938. A study in rock-weathering. *J. Geol.*, **46**: 17-58.
- Hartley, A.J., Weissmann, G.S., Nichols, G., Warwick, G.L. 2010. Large distributive fluvial systems: characteristics, distribution and controls on development. *Journal of Sedimentary Research*, **80**: 167-183.
- Jackson, M.L. 1969. *Soil chemical analysis: advanced course*. Soil Science Society of America, Madison, 895 pp.
- Jenkins, R., Snyder, R.L. 1996. *Introduction to X-ray powder diffractometry*. Wiley, New York, 429 pp.
- Jenny, H. 1994. *Factors of soil formation: a system of quantitative pedology*. Dover, New York, 281 pp.
- Kämpf, N., Curi, N., Vidal-Torrado, P. 2009. Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo. In: V.F. Melo, L.R.F. Alleoni (eds.) *Química e mineralogia do solo*. Parte I – Conceitos básicos. SBCS, Viçosa, p.: 333-380.
- Kosir, A. 2004. Microcodium revisited: root calcification products of terrestrial plants on carbonate-rich substrates. *Journal of Sedimentary Research*, **74**: 845-57.
- Kraus, M.J. 1992. Alluvial response to differential subsidence: sedimentological analysis aided by remote sensing, Wilwood Formation (Eocene), Bighorn Basin, Wyoming, USA. *Sedimentology*, **39**: 455-470.
- Kraus, M.J. et al. 2013. Paleohydrologic response to continental warming during the Paleocene-Eocene Thermal Maximum, Bighorn Basin, Wyoming. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **370**: 196-2008.
- Machette, M.N. 1985. Calcic soils of the southwestern United States. *Geological Society of America Bulletin, Special Paper*, **2003**: 1-21.
- Miall, A.D. 1996. *The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology*. Springer, Berlin, 582 pp.
- Paula e Silva, F., Chang, H.K., Caetano-Chang, M.R. 2005. Estratigrafia de subsuperfície do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, **35(1)**: 77-88.
- Pecharsky, V.K., Zavalij, P.Y. 2009. *Fundamentals of powder diffraction and structural characterization of materials*. Springer.

- 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. *Sediment. Geol.*, **105**: 1-10.
- Retallack, G.J. 1988. Field recognition of paleosols. *GSA Sp. Paper*, **216**: 1-20.
- Retallack, G.J. 2001. *Soils of the past: an introduction to paleopedology*. Unwin Hyman, London.
- Riccomini, C. 1995. Tectonismo gerador e deformador dos depósitos sedimentares pós-gondwânicos da porção centro-oriental do Estado de São Paulo e áreas vizinhas. Tese de Livre-Docência, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 100 p.
- Riccomini, C. 1997. Arcabouço estrutural e aspectos do tectonismo gerador e deformador da Bacia Bauru no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira Geociências*, **27(2)**: 153- 162.
- Stanistreet, I. & McCarthy, T. S. 1993. The Okavango Fan and the classification of sub aerial fan systems. *Sedimentary Geology*, **85**: 115-133.
- 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. *The Journal of Geology*, **110**: 687-696.
- Stoops, G., Marcelino, V., Mees, F. (eds.). 2010. *Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths*. Elsevier, Amsterdam.
- Suguo, K. & Barcelos, J.H. 1983a. Calcretes of the Bauru Group (Cretaceous), Brazil: petrology and geological significance. *Boletim IG-USP*, **14**: 31-47.
- Suguo, K. & Barcelos, J.H. 1983b. Paleoclimatic evidence from the Bauru Group, Cretaceous of the Paraná Basin, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **13(4)**: 232-236.
- Targulian, V.O., Goryachkin, S.V. 2004. Soil memory: types of record, carriers, hierarchy and diversity. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, **21(1)**: 1-8.
- Wright, V.P. 1986. *Paleosols: their recognition and interpretation*. Princeton, 315 pp.
- Wright, V.P. 1992. Paleopedology: Stratigraphic relationship and empirical models. In: I.P. Martini, W. Chesworth (eds.) *Weathering, soils e paleosols*. Elsevier, Amsterdam, p.: 475-499.
- Wright, V.P. & Tucker, M.E. (eds.). 1991. *Calcretes*. The International Association of Sedimentologists, London, 352 pp.