

TOPOLITOSSEQUÊNCIAS DE SOLOS DO ALTO PARANAÍBA: ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MINERALÓGICOS⁽¹⁾

Fernando Cartaxo Rolim Neto⁽²⁾, Carlos Ernesto G.R. Schaefer⁽³⁾, Elpidio Inácio Fernandes Filho⁽³⁾, Marcelo Metri Corrêa⁽⁴⁾, Liovando Marciano da Costa⁽³⁾, Roberto da Boa Viagem Parahyba⁽⁵⁾, Sergio Monthezuma Santoianni Guerra⁽²⁾ & Richard Heck⁽⁶⁾

RESUMO

Pouco se conhece sobre a diferenciação pedogenética no Alto Paranaíba (MG), quando são comparados materiais de composição química tão variada, como tufitos, rochas ígneas alcalinas e ultramáficas e carbonatitos, todos de ocorrência na região. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo caracterizar física, química e mineralogicamente os solos representativos de três topossequências do Alto Paranaíba. Para isso, foram descritos e coletados 11 perfis de solos, entre os municípios de Serra do Salitre, Patrocínio e Coromandel, representando as variações litológicas na faixa do contato geológico entre os grupos Bambuí, rochas vulcânicas ultramáficas e Araxá. Nas amostras de solos foram realizadas análises físicas e químicas de rotina, além de determinações de Fe, Al e Si após extração por ataque sulfúrico; Fe por DCB e oxalato; Fe, Ca, Mg, K, P, Ti e outros metais pesados após digestão total (ataque triácido); e determinação dos diferentes componentes da fração argila por difratometria de raios X. Os Latossolos do Alto Paranaíba são extremamente intemperizados e com índices Ki e Kr muito baixos, indicativos de solos ricos em óxidos de Fe e de Al, não possuindo uma filiação definida com os materiais de origem subjacente, indicando intensa pedoturbação e provável mistura com materiais alóctones. As assinaturas geoquímicas indicativas da natureza ultramáfica são os teores elevados de Cr, Ni, Mn, Fe e Mg. A mineralogia da fração argila dos Latossolos indica a coexistência de vermiculita com hidróxi-Al

⁽¹⁾ Trabalho extraído da Tese de Doutorado do primeiro autor em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal de Viçosa – UFV. Recebido para publicação em maio de 2008 e aprovado em agosto de 2009.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. Rua Dom Manoel de Medeiros s/n, Dois Irmãos, CEP 52171-900 Recife (PE). E-mails: fernandocartaxo@yahoo.com.br; smsguerra@hotmail.com

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – UFV. Av. PH Rolfs s/n, CEP 36570-000 Viçosa (MG). E-mail: carlos.schaefer@solos.ufv.br

⁽⁴⁾ Professor da Unidade Acadêmica de Garanhuns, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. Av. Bom Pastor s/n, Boa Vista, CEP 55296-901 Garanhuns (PE). E-mail: marcelometri@yahoo.com

⁽⁵⁾ Pesquisador da Embrapa Solos/Recife. Rua Antônio Falcão 402, Boa Viagem, CEP 51020-240 Recife (PE). E-mail: parahyba@uep.cnps.embrapa.br

⁽⁶⁾ Professor Associado, Department of Land Resource Science, University of Guelph, Ontario, Canada N1G2W1. E-mail: rheck@vogue.guelph.ca

entrecamadas, caulinita, gibbsita e anatásio, evidenciando uma gênese policíclica dos minerais da fração mais fina e o elevado grau de intemperismo. Nos Cambissolos, a rápida dessilificação atual conduz à coexistência de gibbsita e óxidos de Fe com esmectitas e illitas, em virtude da rápida ação do intemperismo nos substratos de rochas máficas ou ultramáficas-alcálicas, pobres em sílica.

Termos de indexação: Latossolos, rochas máficas, Triângulo Mineiro, extração sequencial, intemperismo.

SUMMARY: *TOPOLITOSEQUENCES OF SOILS IN ALTO PARANAÍBA REGION: PHYSICAL, CHEMICAL AND MINERALOGICAL PROPERTIES*

Little is known about the pedogenetic differentiation in Alto Paranaíba, western Minas Gerais, Brazil, when materials with such a variety of chemical compositions as tuffite, alkaline-ultramafic igneous rocks and carbonatites are compared, which are all found in this region. The purpose of this study was to characterize the physical, chemical and mineralogical properties of three representative soil topolitosequences of the Alto Paranaíba region. Therefore, 11 soil profiles were described and collected in the Serra do Salitre, Patrocínio and Coromandel counties, representing the influence of mafic-ultramafic bodies along the geological interface between Bambuí and Araxá groups. Soil samples were routinely analyzed for physical and chemical properties, besides determinations of Fe, Al and Si after sulfuric extraction; Fe after extraction by DCB and oxalate; Fe, Ca, Mg, K, P, Ti, and other heavy metals after total digestion (triacid attack); and determination of the different components in the clay fraction by DRX. The Latosols (Oxisols) of the Alto Paranaíba are extremely weathered and have very low Ki and Kr indexes, indicators of soils with high iron and aluminum oxides contents, with no defined relationship with the underlying parent materials, indicating intense pedoturbation and mixture with alloctonous materials. The geochemical signatures of the ultramafic nature are the unusual high content of Cr, Ni, Mn, Fe, and Mg. The clay fraction mineralogy of the Latosols shows the coexistence of VHE, kaolinite, gibbsite, and anatase, indicating a polycyclic genesis of the minerals from the finer fraction and the high weathering degree. In the Cambissols, the current rapid desilification indicates the coexistence of gibbsite and iron oxides with smectites and illite because of the fast weathering in the silicon-poor mafic or alkaline-ultramafic rock substrates.

Index-terms: Latosols, ultramafic rocks, Triangulo Mineiro, sequential extraction, weathering.

INTRODUÇÃO

A porção superior do Rio Paranaíba representa um dos divisores de água mais importantes do Brasil, separando as cabeceiras de drenagem dos rios São Francisco, a leste, e Paraná, a oeste, com intensa atividade agrícola e vocação agroindustrial. É, ainda, área de elevado aproveitamento hidráulico, com várias barragens para geração de energia.

Do ponto de vista geológico, abrange uma vasta área elevada, onde se sucedem litologias pré-cambrianas (grupos Bambuí, Canastra, Ibiá, Paracatu, Araxá e Embasamento Cristalino), atravessadas por inúmeros corpos vulcânicos/subvulcânicos, relacionados aos eventos da separação entre África e América do Sul, a partir da reativação Juro-Cretácea. Rochas efusivas básicas ocorrem na direção do Rio Paraná, enquanto diversos afloramentos de corpos ígneos de filiação máfica-ultramáfica ou

alcálica se distribuem em sua borda, atravessando rochas pré-cambrianas (Schaefer, 1999).

A região do Alto Paranaíba apresenta-se com embasamento de rochas pelíticas do pré-cambriano, dobradas e cobertas por sedimentos clásticos fluviais, com ocorrências de material piroclástico (Guimarães, 1955). Estes materiais, resultantes de atividades vulcânicas, originaram os chamados tufos vulcânicos ou tufitos, que preencheram as partes dissecadas da paisagem na época da deposição (Barbosa et al., 1970; Carmo et al., 1984).

Em geral, a geomorfologia da área é composta de grandes chapadões, mais ou menos recortados, ocasionando o aparecimento de vales profundos com encostas largas (Ferreira et al., 1994). Nos chapadões, ocorrem Latossolos sob vegetação original de Cerrado, os quais são de grande importância para o desenvolvimento agrícola do Estado de Minas Gerais, com destaque para as culturas de soja, milho e café

(Carmo et al., 1984). Poucos remanescentes florestais ainda existem na área.

Segundo Ferreira (1994), a fração argila dos Latossolos do Triângulo Mineiro é composta basicamente por caulinita, gibbsita e goethita, com presença eventual de anatásio, como constatado por Kämpf & Schwertmann (1983) e Curi & Franzmeier (1984) em solos similares. Foram encontrados, por Ferreira et al. (1994), Latossolos Roxos com alta susceptibilidade magnética, com hematita em 80 % do total dos óxidos. Solos com susceptibilidade magnética originados de basalto e tufito ocorrem, respectivamente, nas regiões do Triângulo Mineiro – MG e do Alto Paranaíba – MG. Segundo Coey et al. (1991), nos solos de basalto a magnetização é decorrente da Ti-maguemita, enquanto nos de tufito é por conta da Mg-maguemita. Os óxidos de Fe, principalmente magnetita e maguemita, podem conter elementos traços em suas estruturas, o que justifica as correlações positivas encontradas entre seus teores totais e a magnetização (Resende et al., 1986; Curi & Franzmeier, 1987; Ferreira et al., 1994).

Pouco se conhece sobre a diferenciação pedogenética no Alto Paranaíba, quando são comparados materiais de composição química tão variada, como tufitos, rochas ígneas alcalinas e ultramáficas e carbonatitos, todos de ocorrência na região.

Neste trabalho, selecionaram-se, para estudo, três topolitossequências, representando as principais variações dos solos encontradas no Alto Paranaíba, em termos de litologias máficas-ultramáficas, objetivando-se avaliar aspectos da morfologia,

propriedades físicas, químicas, mineralogia da fração argila e da gênese dos solos, conforme as variações litológicas e topográficas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram escolhidas três topolitossequências de solos localizadas na região da Bacia do Alto Paranaíba, no Estado de Minas Gerais, num total de 11 perfis de solos, entre os Municípios de Serra do Salitre, Patrocínio e Coromandel, na faixa do contato geológico entre os grupos Bambuí e Araxá (Figuras 1, 2 e 3). Horizontes selecionados dos mesmos perfis de solo já foram utilizados, em estudo anterior, para avaliar diferenças na capacidade de adsorção de fósforo dos referidos solos (Rolim Neto et al., 2004)

A primeira topolitossequência (T1), com quatro perfis (Figura 1), está situada nas proximidades da Serra do Salitre, localizada no município de mesmo nome. A segunda (T2), também com quatro perfis de solos (Figura 2), encontra-se na Serra Negra, no município de Patrocínio, e a terceira (T3), com apenas três perfis (Figura 3), nas imediações da sede do município de Coromandel. As topolitossequências foram identificadas de acordo com o nome dos municípios em que estão localizadas.

O clima regional é do tipo Cwb (Köppen), com verões amenos e invernos secos (Braun, 1988). Em T1, os solos são desenvolvidos de rochas ultramáficas no topo, e o último perfil é desenvolvido de rochas metapelíticas

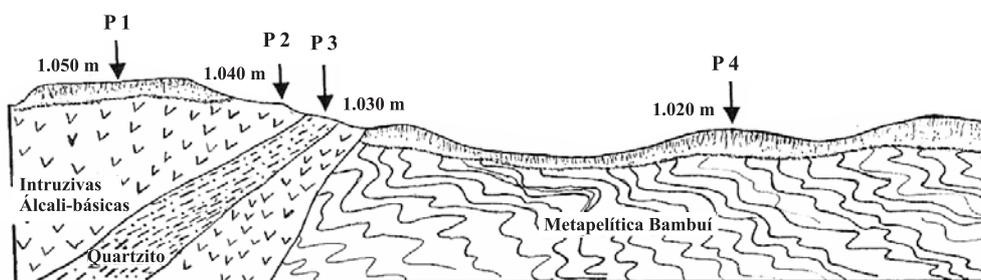


Figura 1. Perfil geológico esquemático da topolitossequência Serra do Salitre (T1) e posições dos respectivos solos.

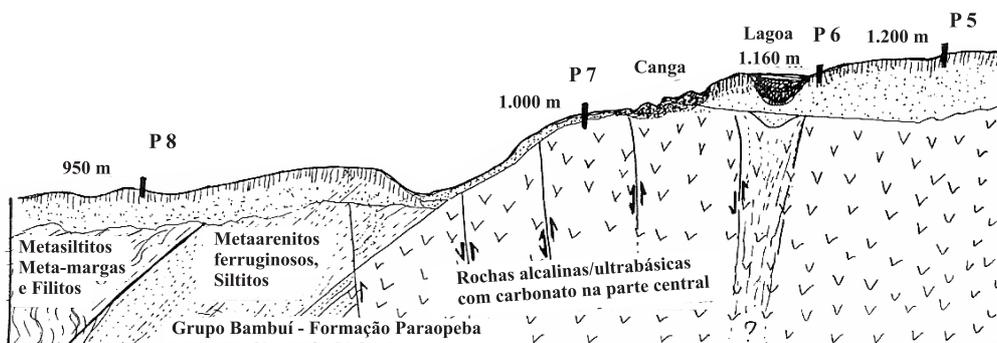


Figura 2. Perfil geológico esquemático da topolitossequência Patrocínio (T2) e posições dos respectivos solos.

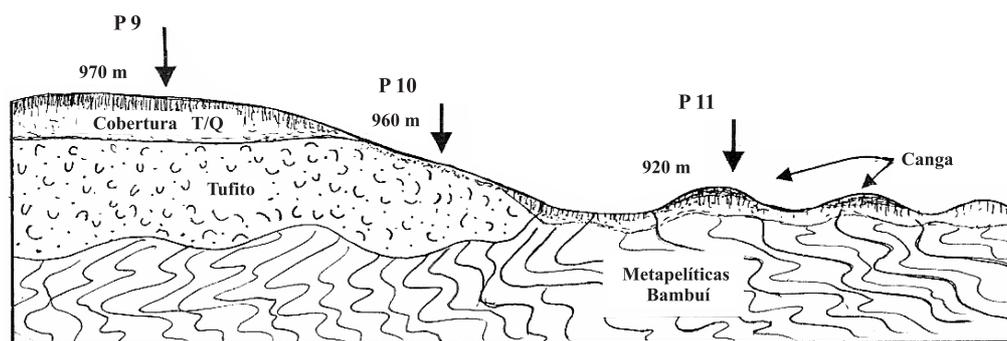


Figura 3. Perfil geológico esquemático da topolitossequência Coromandel (T3) e posições dos respectivos solos.

do Bambuí. Em T2, o topo da paisagem é sustentado por rochas ígneas ultramáficas (peridotito-dunito), transicionando para rochas metassedimentares nas partes mais baixas. Em T3, os solos do topo são desenvolvidos de tufito, e abaixo da escarpa, de sedimentos coluviais com canga laterítica. As variações altimétricas estão ilustradas na Figura 1. O relevo é sempre mais aplainado no topo (T1, T2, T3), que representa a paisagem e os solos mais antigos, associados à Superfície Sulamericana (Eoceno ao Plioceno). Nas partes mais baixas das paisagens, que erodiu as chapadas, a dissecação é de idade pleistocênica (Braun, 1988).

Os perfis de solo foram descritos em sua morfologia segundo Santos et al. (2005). Amostras com estrutura deformada de cada horizonte dos perfis de solo foram coletadas para realização análises físicas, químicas e mineralógicas de caracterização dos solos. Nas análises físicas e químicas de rotina, seguiram-se os processos padrões do Manual de Métodos de Análise de Solo (Embrapa, 1997).

Nos principais horizontes genéticos de cada solo, foram realizados ataque triácido, ataque sulfúrico (Embrapa, 1979) e extrações com oxalato ácido de amônio (McKeague & Day, 1966) e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (Mehra & Jackson, 1960) nas frações TFSA e argila.

Análises mineralógicas da fração argila foram efetuadas pela técnica de difração de raios X em lâminas com argila orientada, após desferrificação com ditionito-citrato-bicarbonato (Mehra & Jackson, 1960). As leituras foram realizadas em amostras saturadas com magnésio e magnésio + glicerol, ambos em temperatura ambiente, e com K em temperatura ambiente e aquecidas a 350 e 550 °C. Para isso, utilizou-se um difratômetro dotado de tubo de cobre, filtro de níquel e monocromador de grafite, com leituras no intervalo de 2 a 35° 2 θ .

Também procedeu-se ao tratamento com NaOH 5 mol L⁻¹ (Kämpf & Schwertmann, 1982), a fim de eliminar os silicatos e a gibbsita, objetivando-se a concentração dos óxidos de Fe. Após a montagem de

amostras sem orientação (em pó), foi realizada a difração de raios X no intervalo de 20 a 60° 2 θ , em difratômetro de raios X dotado de tubo de cobalto, filtro de Fe e monocromador de grafite.

Para a classificação dos solos, adotaram-se as normas dos levantamentos pedológicos executados pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Embrapa, 1988) e do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características físicas e morfológicas dos solos

Dentre os solos das três topolitossequências estudadas (Quadro 1), aqueles com textura argilosa ou muito argilosa estão representados pelos perfis P1, P4, P5, P6 e P9, todos os Latossolos, e pelo P10, um Cambissolo. Esses solos são originados de rochas ígneas alcalinas (P1), filitos e clorita-xistos (P4), rochas ultramáficas intrusivas (dunitos) (P5 e P6) e de tufo vulcânicos (P9 e P10), todos materiais pobres em quartzo e que normalmente originam solos com textura mais argilosa. Os perfis P2 e P7 de Cambissolos e o P3 de Neossolo (Litóico) apresentam textura variando de arenosa à franca, com maiores teores de silte nos dois primeiros solos. Os perfis P8 e P11, de Latossolos originados respectivamente de rochas metassedimentares e cangas lateríticas, apresentam textura franco-argilosa.

Os valores da relação silte/argila (Quadro 1) em todos os horizontes Bw dos Latossolos são inferiores ao limite máximo de 0,7 para B latossólico, proposto pela Embrapa (2006). Esta relação ultrapassa o valor de 0,7 em alguns horizontes A de Latossolos e, principalmente, em todos os horizontes dos Cambissolos, representados pelos perfis P2 e P7. Os valores inferiores a 0,7 no P10 de Cambissolo são consequências de o material de origem, tufito de grão mais fino, ser pré-intemperizado, formando assim maior quantidade de argila, já que a rocha se encontra bastante alterada.

Quadro 1. Características morfológicas e físicas dos solos das três topolitossequências estudadas

Horizonte	Profundidade cm	Cor solo úmido	Areia		Silte	Argila	ADA	Textura	Silte	Ds	Dp
			Grossa	Fina					Argila		
			%						— g cm ⁻³ —		
T1 – Topolitossequência Serra do Salitre											
P1 – Latossolo Vermelho ácrico típico (húmico)											
Ap	0–25	5 YR 3/3	9	23	33	35	5	fr.arg.	0,93	1,40	2,74
BA	25–60	2,5 YR 3/4	10	19	29	42	10	argila	0,69	1,42	2,86
Bw1	60–100	2,5 YR 3/6	9	19	27	45	0	argila	0,61	1,26	2,86
Bw2	100–150+	2,5 YR 3/6	8	20	28	44	0	argila	0,64	1,29	2,86
P2 – Cambissolo Háptico Ta eutrófico léptico											
A	0–25	5 YR 3/2	15	14	51	20	3	fr.silt.	2,51	1,23	2,82
Bi	25–40	5 YR 3/4	12	14	48	26	5	franco	1,83	-	2,63
BC	40–65	-	14	15	42	29	8	fr.arg.	1,47	1,51	2,74
Cr	65–140	-	7	11	57	25	7	fr.silt.	2,31	1,42	2,82
P3 – Neossolo Litólico Húmico típico											
A	0–30		17	51	21	11	0	fr.ar.	1,89	1,06	2,86
Cr	30–50		27	48	14	11	0	fr.ar.	1,29	-	2,44
P4 – Latossolo Vermelho ácrico típico											
Ap	0–10	5 YR 3/3	11	12	28	49	6	argila	0,58	1,15	2,67
A	10–35	5 YR 4/3	11	12	28	49	3	argila	0,58	1,25	2,74
BA	35–55	5 YR 4/4	8	11	29	52	3	argila	0,55	1,13	2,86
Bw1	55–75	4 YR 3/6	9	10	27	54	0	argila	0,50	1,14	2,67
Bw2	75–110	2,5 YR 3/6	8	10	29	53	8	argila	0,54	1,16	2,78
Bw3	110–150+	2,5 YR 3/6	10	11	27	52	9	argila	0,52	1,26	2,70
T2 – Topolitossequência Patrocínio											
P5 – Latossolo Vermelho distrófico húmico											
Ap	0–30	5 YR 3/3	25	8	19	48	6	argila	0,40	1,09	2,70
BA	30–50	4 YR 3/4	11	7	17	65	0	m.arg.	0,26	1,02	2,86
Bw1	50–80	2,5 YR 3/5	8	6	15	71	2	m.arg.	0,21	1,33	2,78
Bw2	80–150	2,5 YR 3/6	8	6	16	70	15	m.arg.	0,23	1,43	2,86
P6 – Latossolo Vermelho-Amarelo ácrico típico											
A	0–15	5 YR 3,5/3	12	7	15	66	14	m.arg.	0,23	1,12	2,74
BA	15–40	5 YR 4/3	11	6	17	66	0	m.arg.	0,25	1,07	2,78
Bw1	40–80	5 YR 4/4	10	6	15	69	15	m.arg.	0,22	1,04	2,82
Bw2	80–125	5 YR 4/4	11	5	16	68	13	m.arg.	0,23	1,05	2,82
Bw3	125–160+	5 YR 4/6	6	5	17	72	22	m.arg.	0,23	1,06	3,13
P7 – Cambissolo Háptico Ta eutrófico léptico											
A	0–30	5 YR 3/3	12	28	46	14	1	franco	3,34	0,93	2,90
Bi	30–50	2,5 YR 3/4	9	22	59	10	3	fr.silt.	6,23	1,18	3,23
BC	50–60	2,5 YR 3/4	13	24	53	10	0	fr.silt.	5,24	1,18	3,17
Cr	60–100	10 YR 7/2	8	35	51	6	0	fr.silt.	8,75	1,25	2,70
P8 – Latossolo Vermelho distrófico húmico											
Ap	0–15	10 R 3/3	20	15	35	30	2	fr.arg.	1,15	1,09	2,86
AB	15–40	10 R 3/4	19	16	32	33	3	fr.arg.	0,98	1,20	2,82
BA	40–70	10 R 3/5	20	16	25	39	6	fr.arg.	0,65	1,26	2,99
Bw1	70–120	10 R 3/6	19	18	23	40	8	fr.arg.	0,58	1,30	2,86
Bw2	120–150+	10 R 3/6	18	18	24	40	0	fr.arg.	0,61	1,11	2,99
T3 – Topolitossequência Coromandel											
P9 – Latossolo Vermelho ácrico típico											
Ap	0–10	2,5 YR 3/4	11	9	20	60	13	argila	0,33	1,26	3,08
BA	10–30	2,5 YR 3/5	9	8	17	66	15	m.arg.	0,25	1,09	2,78
Bw1	30–100	10 R 3/5	9	7	16	68	0	m.arg.	0,24	1,12	2,82
Bw2	100–200	10 R 3/6	9	9	17	65	1	m.arg.	0,27	1,08	2,78
P10 – Cambissolo Háptico Ta eutrófico léptico											
A	0–20	5 YR 3/4	14	13	20	53	19	argila	0,39	-	2,82
Bi	20–60	5 YR 4/4	6	8	26	60	14	argila	0,44	1,38	2,99
BC	60–100	2,5 YR 6/2	10	8	33	49	19	argila	0,68	1,68	3,23
P11 – Latossolo Vermelho distroférico câmbico											
A	0–30	6 YR 4/4	40	20	10	30	9	fr.arg.ar.	0,34	-	2,63
AB	30–50	5 YR 4/4	31	12	18	39	0	arg.ar.	0,48	-	3,17
Bw	50–80	2,5 YR 3/6	39	17	21	23	7	fr.arg.ar.	0,89	-	3,03
BC	80–100	2,5 YR 3/6	10	29	28	33	12	fr.arg.	0,86	1,60	3,23
Cr	100–130+	-	6	51	25	18	1	fr.ar.	1,43	1,70	3,08

ADA: argila dispersa em água; Ds: densidade do solo; Dp: densidade da partícula; fr.arg.: franco-argiloso; fr.silt.: franco-siltoso; fr.ar.: franco-arenoso; m.arg.: muito argiloso; fr.arg.ar.: franco-argilo-arenoso; arg.ar.: argilo-arenoso; -: valor não obtido.

De maneira geral, as cores predominantes nos solos (Quadro 1) variam do matiz 10R (mais vermelho) ao 5YR (vermelho-amarelado), com predominância do 2,5YR, o qual, segundo Oliveira et al. (1992), é típico dos horizontes B latossólicos de Latossolos Roxos e Vermelho-Escuros, atualmente classificados como Latossolos Vermelhos (Embrapa, 2006). De acordo com Kämpf & Schwertmann (1983), a predominância da cor vermelha nos Latossolos deve-se a uma relação $Hm/(Hm+Gt)$ superior a 0,4. Já Resende (1976) relata que apenas 1 % deste óxido é suficiente para tingir de vermelho o material do solo. O perfil P6, o menos vermelho dos Latossolos, encontra-se próximo à lagoa da Serra Negra, estando sujeito à maior permanência de umidade no solo, condição que, segundo Schwertmann (1985) e Kämpf (1988), favorece a formação da goethita, óxido de Fe que confere cores amarelas aos solos.

Características químicas dos solos

Análises de rotina

Os valores de pH em água (Quadro 2) evidenciam que, à exceção dos perfis P2 e P7 de Cambissolos, todos os outros apresentam reação ácida, com valores mais baixos para o perfil P5 de Latossolo Vermelho da topolitossequência Patrocínio. Este fato pode ser explicado pelo intenso uso agrícola deste solo e pela posição de topo na paisagem. Sua condição topográfica de topo plano favorece maior lixiviação de seus cátions trocáveis, resultando no acúmulo de H^+ e Al^{3+} no complexo de troca. Tal afirmação é corroborada pelo baixo valor V % e alto valor m % desse solo.

Com base nos valores de ΔpH (Quadro 2), pode-se considerar que a maioria dos solos é eletronegativo, principalmente no caso dos horizontes dos Cambissolos e do Neossolo Litólico e dos horizontes superficiais dos Latossolos. Com o aumento da profundidade, os horizontes subsuperficiais dos Latossolos tornam-se eletropositivos ou com balanço de cargas próximo à zero, indicando uma mineralogia predominantemente gibbsítica/oxídica (Camargo et al, 1988; Schaefer et al, 2008).

A saturação por Al (índice m) apresenta-se com valores nulos em muitos dos horizontes dos solos estudados, principalmente nos subsuperficiais, em que o balanço de cargas é nulo ou positivo (Quadro 2). Em alguns horizontes superficiais e em todos do perfil P10 do Cambissolo eutrófico, os valores de m variam de 2 a 23 %. De todos os solos estudados, apenas o horizonte BA do perfil P5 de Latossolo Vermelho apresenta caráter álico, com valor $m > 50$ %. No entanto, assim como para os outros perfis estudados, o teor de Al^{3+} trocável foi menor que $4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, não satisfazendo o critério requerido para o caráter aluminico ou alítico do atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Embrapa, 2006).

Apenas os perfis P2, P7 e P10 (Quadro2), de Cambissolos, são eutróficos ($V > 50$ %), consequência

do menor grau de intemperização e da maior riqueza em bases do material de origem (rochas alcalinas-básicas e tufitos). Os perfis P3 de Neossolo Litólico e P6 e P8 de Latossolos podem ser considerados epieutróficos, com V superior a 50 % apenas nos horizontes superficiais, devido à reciclagem das bases ou à prática da calagem/adubação. Os Latossolos restantes (perfis P1, P4, P5, P9 e P11) são distróficos, mesmo nos casos em que são originados de materiais capazes de fornecer quantidades apreciáveis de bases ao solo, como é o caso das rochas alcalinas/ultramáficas. Isto sugere que foram submetidos a condições severas de intemperismo e lixiviação intensa.

O C orgânico apresenta-se com valores variando de médios a altos nos horizontes superficiais. Valores excepcionalmente altos encontram-se nos horizontes A dos perfis P2, P5, P8 e, principalmente, no P3. Nos Latossolos, marcadamente nos perfis P5 e P8, o C orgânico ocorre em teores consideravelmente altas também em profundidade (150 cm), o que indica que há forte atividade pedobiológica (pedoturbação) incorporando C nos agregados menores em profundidade, como evidenciado nos trabalhos de Miklós (1992), Schaefer (2001) e Sarcinelli et al. (2009) com Latossolos do Brasil, em condições similares.

De acordo com as classes de interpretação propostas por Alvarez V. et al. (1999), o P extraível por Mehlich-1 (Quadro 2) apresenta-se com valores variando de baixo a muito baixo na maioria dos horizontes dos solos estudados. As exceções são o perfil P7 de Cambissolo e o P3 de Neossolo Litólico, bem como os horizontes A do P5 (Latossolo Vermelho) e BC do P10 de Cambissolo, em que os valores situam-se nas classes boa e muito boa daqueles autores. Esses elevados valores de P disponível podem estar relacionados à presença de apatita nos corpos ultrabásicos/alcalinos, fato comum na área (Barbosa et al., 1970).

A presença de grande reserva P nas apatitas de corpos ígneos ou vulcânicos do Triângulo Mineiro foi confirmada pelos altos valores de P-Mehlich-1 nos perfis P3 e P7, sendo o primeiro de filiação máfica-alcalina e o segundo de ultramáfica. Nos Latossolos das topolitossequências associados a estes tipos de material de origem os teores de P foram baixos, evidenciando a passagem desse elemento para formas não lábeis com o avanço do intemperismo.

Com base nas análises de cátions trocáveis (Quadro 2), é possível estabelecer com segurança o caráter ultramáfico do material de origem do Cambissolo (P7) na Serra Negra, pelo extremo desbalanço entre Ca^{2+} e Mg^{2+} (relações $Ca:Mg$ de aproximadamente 1:20 em superfície), enquanto no Cambissolo (P2) da Serra do Salitre, o caráter máfico é mais evidente (relações $Ca^{2+}:Mg^{2+}$ de aproximadamente 10:1). Na topolitossequência Coromandel, o Cambissolo (P10) mostrou evidente desbalanço do Ca^{2+} e Mg^{2+} (relações de aproximadamente 1:2,5), sugerindo a natureza mista

Quadro 2. Características químicas dos solos das três topolitossequências estudadas

Horizonte	pH		ΔpH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	t	T	m	V	CO	P
	H ₂ O	KCl													
cmol _c dm ⁻³ % mg dm ⁻³															
T1 – Topolitossequência Serra do Salitre															
P1 – Latossolo Vermelho ácido típico (húmico)															
Ap	5,9	4,6	-1,3	2,2	0,6	1,41	0,1	7,26	4,2	4,3	11,5	2	37	3,45	2,52
BA	6,0	5,1	-0,9	1,3	0,4	0,51	0	4,62	2,2	2,2	6,8	0	32	1,48	0,00
Bw1	6,2	6,0	-0,2	0,9	0,4	0,25	0	3,96	1,6	1,6	5,5	0	28	0,82	0,13
Bw2	6,0	6,0	0,0	0,1	0,2	0,33	0	3,3	0,7	0,7	4,0	0	17	0,63	0,00
P2 – Cambissolo Háplico Ta eutrófico léptico															
A	7,3	6,0	-1,3	19,1	2,0	3,84	0	3,63	24,9	24,9	28,6	0	87	4,08	11,08
Bi	7,4	5,7	-1,7	8,9	2,1	2,47	0	3,96	13,4	13,4	17,4	0	77	2,26	3,54
BC	6,8	5,1	-1,7	6,4	1,1	2,39	0	4,62	9,9	9,9	14,5	0	68	1,41	4,84
Cr	6,8	5,0	-1,8	4,5	1,0	1,91	0	3,3	7,4	7,4	10,7	0	69	0,56	1,38
P3 – Neossolo Litólico Húmico típico															
A	6,2	5,1	-1,1	15,6	0,2	1,28	0	13,86	17,1	17,1	30,9	0	55	7,61	535,55
Cr	6,3	5,3	-1,0	3,0	0,0	0,20	0	9,24	3,2	3,2	12,5	0	26	0,74	128,14
P4 – Latossolo Vermelho ácido típico															
Ap	4,6	4,4	-0,2	1,0	0,1	1,23	0,2	5,94	2,3	2,5	8,3	8	28	3,12	2,92
A	4,7	4,2	-0,5	0,2	0,0	0,51	0,3	6,27	0,7	1,0	7,0	29	10	2,71	0,66
BA	4,7	4,5	-0,2	0,1	0,0	0,25	0,1	3,3	0,4	0,5	3,7	21	10	2,30	0,31
Bw1	5,4	5,4	0,0	0,2	0,0	0,12	0	1,98	0,3	0,3	2,3	0	14	1,60	0,13
Bw2	5,6	5,9	0,3	0,1	0,0	0,12	0	2,64	0,2	0,2	2,8	0	7	1,26	0,13
Bw3	5,5	6,1	0,6	0,0	0,0	0,12	0	1,98	0,2	0,2	2,2	0	8	0,89	0,31
T2 – Topolitossequência Patrocínio															
P5 – Latossolo Vermelho distrófico húmico															
Ap	4,9	4,0	-0,9	1,2	0,4	0,90	0,7	12,87	2,5	3,2	15,4	22	16	4,82	18,38
BA	4,2	4,1	-0,1	0,0	0,0	0,28	0,5	10,56	0,4	0,9	10,9	59	3	2,97	1,94
Bw1	4,0	4,4	0,4	0,1	0,1	0,25	0,1	6,93	0,4	0,5	7,3	22	5	2,30	0,66
Bw2	4,0	4,9	0,9	0,0	0,0	0,36	0	5,28	0,4	0,4	5,7	0	7	1,71	0,48
P6 – Latossolo Vermelho-Amarelo ácido típico															
A	5,2	4,4	-0,8	0,1	0,1	7,70	0,2	6,93	7,9	8,1	14,9	2	53	2,89	1,01
BA	5,7	4,6	-1,1	0,1	0,0	2,31	0	2,97	2,4	2,4	5,4	0	45	2,41	3,12
Bw1	5,1	5,9	0,8	0,0	0,0	1,44	0	4,95	1,5	1,5	6,4	0	23	1,74	0,31
Bw2	5,4	5,9	0,5	0,0	0,0	1,54	0	3,96	1,6	1,6	5,5	0	28	1,30	0,13
Bw3	5,4	6,0	0,6	0,1	0,0	0,25	0	3,3	0,3	0,3	3,6	0	9	1,22	0,00
P7 – Cambissolo Háplico Ta eutrófico léptico															
A	7,2	6,3	-0,9	1,2	19,3	0,77	0	2,31	21,3	21,3	23,6	0	90	1,86	535,55
Bi	7,5	6,6	-0,9	0,7	14,6	0,25	0	1,98	15,6	15,6	17,6	0	89	1,30	244,34
BC	7,4	6,7	-0,7	0,4	8,6	0,20	0	1,32	9,2	9,2	10,5	0	87	1,30	43,96
Cr	8,2	7,3	-0,9	0,3	12,6	0,05	0	0,99	13,0	13,0	14,0	0	93	0,19	305,18
P8 – Latossolo Vermelho distrófico húmico															
Ap	5,9	5,4	-0,5	5,3	1,8	0,69	0	6,27	7,7	7,7	14,0	0	55	5,01	5,78
AB	6,2	5,2	-1,0	5,3	0,3	0,46	0	11,55	6,1	6,1	17,7	0	35	4,04	1,56
BA	5,9	5,5	-0,4	4,1	0,2	0,15	0	4,95	4,4	4,4	9,4	0	47	2,15	3,54
Bw1	6,2	5,6	-0,6	3,2	0,1	0,10	0	3,63	3,4	3,4	7,0	0	48	1,48	3,33
Bw2	6,3	5,9	-0,4	1,8	0,1	0,07	0	2,64	2,0	2,0	4,6	0	43	1,26	1,01
T3 – Topolitossequência Coromandel															
P9 – Latossolo Vermelho ácido típico															
Ap	6,5	4,5	-2,0	0,2	0,1	0,64	0,1	6,27	1,0	1,1	7,3	9	14	2,34	0,83
BA	5,1	4,5	-0,6	0,0	0,0	0,38	0,1	5,61	0,4	0,5	6,0	21	6	1,93	2,52
Bw1	5,0	4,9	-0,1	0,0	0,0	0,12	0	4,62	0,1	0,1	4,8	0	3	1,30	0,13
Bw2	5,4	5,6	0,2	0,0	0,0	0,12	0	3,3	0,1	0,1	3,4	0	3	0,93	0,00
P10 – Cambissolo Háplico Ta eutrófico léptico															
A	5,8	4,5	-1,3	1,8	4,9	6,03	0,2	5,94	12,7	12,9	18,7	2	68	1,82	1,38
Bi	5,4	3,9	-1,5	1,5	6,6	5,77	4,1	9,24	13,9	18,0	23,2	23	60	0,93	5,30
BC	5,6	3,9	-1,7	4,6	11,3	5,13	1,9	6,6	21,0	22,9	27,6	8	76	0,45	50,63
P11 – Latossolo Vermelho distrófico câmbico															
A	5,3	4,3	-1,0	0,6	0,4	2,18	0,4	3,96	3,1	3,5	7,1	11	44	2,52	1,94
AB	5,7	5,7	0,0	0,0	0,1	0,51	0	3,3	0,6	0,6	3,9	0	16	1,30	1,56
Bt	6,0	6,4	0,4	0,0	0,0	0,20	0	2,31	0,2	0,2	2,6	0	9	0,45	1,94
BC	5,8	6,0	0,2	0,0	0,0	0,20	0	1,98	0,2	0,2	2,2	0	10	0,19	1,56
Cr	5,8	4,6	-1,2	0,0	0,0	0,12	0	1,98	0,1	0,1	2,1	0	6	0,15	1,01

SB: soma de bases; t: CTC efetiva; T: CTC total; m: saturação de alumínio; V: saturação de bases; CO: carbono orgânico.

ultramáfica dos tufitos, porém com forte contribuição de micas nos tufos cineríticos, demonstrada pelos elevados teores de K, superiores aos teores de Ca²⁺.

Resultados dos ataques sulfúrico, triácido, oxalato e ditionito

Os percentuais de Fe₂O₃ do ataque sulfúrico (Quadro 3) dos solos estudados variam de 1,1 a 19,9 dag kg⁻¹. Nos Latossolos, essa variação foi de

4,4 a 10 dag kg⁻¹, valores bem inferiores aos encontrados por Carmo et al. (1984) e Ferreira et al. (1994) em solos do Alto Paranaíba e do Triângulo Mineiro do Estado de Minas Gerais. Assim, esperar-se-iam valores mais elevados do que os encontrados neste trabalho, pois, segundo Ker (1995), Latossolos originados de rochas de natureza básica, tais como basalto, diabásio e tufitos, em geral, devem apresentar teores de Fe₂O₃ compreendidos entre 18 e 40 dag kg⁻¹.

Quadro 3. Valores de alguns óxidos nos extratos do ataque sulfúrico, ataque triácido, ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) e oxalato ácido de amônio (OXA) na TFSA e na fração argila de alguns horizontes diagnósticos dos solos das três topossequências estudadas

Horizonte	Ataque sulfúrico ⁽¹⁾			Ki	Kr	Ataque triácido ⁽¹⁾		Fe _{OXA} ⁽²⁾ Fe _{DCB} ⁽²⁾		Fe _{OXA} ⁽²⁾ /Fe _{DCB} ⁽²⁾	Fe _{DCB} ⁽³⁾	Fe _{DCB} ⁽²⁾ /Fe _S
	SiO ₂ *	Al ₂ O ₃ *	Fe ₂ O ₃ *			Fe ₂ O ₃ **	TiO ₂ **	Fe ₂ O ₃ *				
	— dag kg ⁻¹ —					— dag kg ⁻¹ —						
T1 – Topossequência Serra do Salitre												
P1 – Latossolo Vermelho ácrico típico (húmico)												
Ap	6,5	15,8	5,7	0,70	0,57	12,4	4,8	0,8	9,2	0,09	3,2	0,56
Bw2	8,3	17,7	6,2	0,80	0,65	14,9	5,1	0,7	9,8	0,07	4,3	0,69
P2 – Cambissolo Háptico Ta eutrófico léptico												
A	11,8	11,7	5,3	1,71	1,33	11,8	2,9	0,6	6,6	0,09	1,3	0,25
Bi	13,0	12,9	6,2	1,71	1,31	11,7	2,9	0,7	7,6	0,09	2,0	0,32
BC	11,7	11,2	4,9	1,78	1,39	11,9	3,0	0,8	8,6	0,09	2,5	0,51
P3 – Neossolo Litólico Húmico típico												
A	1,9	5,0	2,0	0,65	0,51	5,5	1,5	0,8	4,0	0,20	0,4	0,20
Cr	1,9	2,8	1,1	1,15	0,92	3,6	0,9	0,4	6,5	0,06	0,7	0,64
P4 – Latossolo Vermelho ácrico típico												
A	9,2	26,3	4,4	0,59	0,54	12,7	1,5	0,3	6,6	0,05	3,2	0,73
Bw2	9,3	30,7	5,2	0,51	0,46	14,0	1,6	0,2	6,1	0,03	3,2	0,62
T2 – Topossequência Patrocínio												
P5 – Latossolo Vermelho distrófico húmico												
Ap	9,5	32,4	9,0	0,50	0,42	20,7	4,8	0,6	9,8	0,06	4,7	0,52
Bw2	10,6	36,7	9,9	0,49	0,42	22,7	5,2	0,5	9,3	0,05	6,5	0,66
P6 – Latossolo Vermelho-Amarelo ácrico típico												
A	8,2	36,1	6,1	0,39	0,35	7,8	6,5	0,3	6,3	0,05	4,2	0,69
Bw2	8,1	36,8	6,3	0,37	0,34	15,8	8,2	0,2	5,2	0,04	3,5	0,56
P7 – Cambissolo Háptico Ta eutrófico léptico												
A	22,3	3,0	13,9	12,64	3,19	31,2	3,3	1,1	13,3	0,08	1,9	0,14
Bi	10,2	2,2	21,2	7,88	1,10	40,3	2,8	0,6	19,4	0,03	1,9	0,09
BC	4,6	2,3	24,7	3,40	0,43	46,9	2,7	0,4	15,8	0,03	1,6	0,06
P8 – Latossolo Vermelho distrófico húmico												
Ap	6,1	21,0	9,2	0,49	0,39	20,5	7,0	0,8	14,0	0,06	4,2	0,46
Bw2	5,4	21,4	10,0	0,43	0,33	22,6	8,1	1,5	15,2	0,10	6,1	0,61
T3 – Topossequência Coromandel												
P9 – Latossolo Vermelho ácrico típico												
Ap	6,3	29,2	9,5	0,37	0,30	21,9	6,3	0,6	12,1	0,05	7,3	0,77
Bw2	6,5	31,4	7,6	0,35	0,30	20,9	5,9	0,6	11,3	0,05	7,3	0,96
P10 – Cambissolo Háptico Ta eutrófico léptico												
A	17,9	12,2	12,1	2,49	1,53	26,6	7,7	0,8	8,8	0,09	4,7	0,39
Bi	13,7	11,1	13,5	2,10	0,60	27,6	9,5	0,9	6,5	0,14	3,9	0,29
BC	14,6	9,3	11,0	2,67	1,52	23,8	8,7	0,7	3,9	0,18	1,9	0,17
P11 – Latossolo Vermelho distrófico cámbico												
A	7,2	14,5	19,9	0,84	0,45	39,2	5,7	0,4	8,1	0,05	2,4	0,12
Bt	8,1	18,6	19,9	0,74	0,44	33,4	5,3	0,4	13,5	0,03	3,1	0,16
BC	10,3	16,2	14,8	1,08	0,68	27,4	5,0	0,5	16,7	0,03	5,5	0,37

⁽¹⁾ Extrato da TFSA (terra fina seca ao ar). ⁽²⁾ Extrato da fração argila. ⁽³⁾ Valor obtido na fração argila e corrigido pela % de argila da TFSA, com base na análise granulométrica do quadro 1; *: determinado por espectrofotometria de absorção atômica; **: determinado por espectrofotometria de plasma (ICP); Ki: relação %SiO₂.x 1,7 / %Al₂O₃; Kr: %SiO₂.x 1,7 / (%Al₂O₃ + %Fe₂O₃ x 0,64); Fe_{OXA}: Fe₂O₃ extraído pelo oxalato ácido de amônio; Fe_{DCB}: Fe₂O₃ extraído pelo ditionito citrato bicarbonato; Fe_S: Fe₂O₃ extraído com ácido sulfúrico.

Uma possível explicação é a ineficiência do ataque sulfúrico em solos muito ricos em concreções ferruginosas, ou ainda à mistura policíclica de materiais mais pobres em Fe, alóctones, já que os solos se encontram em faixa de contato geológico próximo.

Os valores mais altos de Fe_2O_3 do ataque sulfúrico (Quadro 3) foram verificados nos perfis P7 e P10 de Cambissolos, em virtude do material de origem ultramáfico e no perfil P11 de Latossolo Vermelho distroférrico em função da presença de canga laterítica.

A relação Ki é alta no perfil de Cambissolo (P7), consequência do menor grau de intemperismo deste solo, por conta da sua posição na paisagem (relevo local ondulado) que favorece a constante remoção dos materiais mais intemperizados da superfície e exposição dos materiais de menos intemperizados da subsuperfície. Tal fato mantém maior atividade de silício no meio e consequentemente maiores valores de Ki. Quanto aos Latossolos, todos apresentam valores de Ki em seus horizontes Bw bem inferiores ao limite superior de 2,2 para a caracterização de B latossólico proposto pela Embrapa (2006). Como os valores de Ki nos Latossolos estão bem abaixo daquele da caulinita (2,2) deduz-se que são solos mais oxidados que cauliniticos (Resende et al., 1988; Ker, 1995).

Observando-se os índices Ki e Kr simultaneamente (Quadro 3), à exceção do valor Ki do horizonte Bw2 do P1 de Latossolo Vermelho, todos os horizontes Bw dos Latossolos em estudo apresentam valores inferiores a 0,75, indicando, segundo Resende & Santana (1988), uma predominância de gibbsita e óxidos de Fe. Os mesmos autores afirmam que apenas quando esses valores são superiores a 0,75, há predomínio de caulinita.

Deve-se ressaltar que esses índices “per si”, como assinalado por Ramos (1981) e Embrapa (1988b), não são exclusivos de Latossolos, devendo-se para sua identificação utilizar também outras características e atributos, pois, em certos casos, o material de origem já é pobre em sílica ou pode haver dissolução seletiva de quartzo em ambientes muito ricos em Fe, como constatado por Melfi et al. (1976).

O ataque triácido (Quadro 3) revelou valores de Fe_2O_3 aproximadamente duas vezes maiores que os do ataque sulfúrico. No entanto, detendo-se apenas nos Latossolos, constata-se que os valores são ainda relativamente baixos quando comparados aos de Ker (1995), Carmo et al. (1984) e Ferreira et al. (1994), evidenciando uma gênese policíclica com mistura de materiais, o que resulta em menor quantidade de Fe do que seria esperado, ou a formas de difícil dissolução.

As extrações de Fe com oxalato e ditionito-citrato-bicarbonato da fração argila (Quadro 3) resultaram numa baixa relação Fe_{OXA} / Fe_{DCB} para os horizontes Bw, exceto o Bw do P8, indicando o predomínio das formas cristalinas sobre as amorfas, típico de Latossolos. No geral, os valores estão próximos do limite superior de 0,03 requerido para essa ordem,

como relatado por Kämpf et al. (1988). Já nos solos menos desenvolvidos, Neossolo e Cambissolos, a relação é mais elevada em A, indicando efeito da MO, e com aumento em profundidade no Cambissolo P10, que deve possuir muitas formas jovens de óxidos de Fe pouco cristalinos, que são extraíveis pelo oxalato.

A relação Fe_{DCB} / Fe_S , que indica a participação das formas de Fe ligadas aos óxidos de Fe em relação ao Fe total do ataque sulfúrico (Fe_S), revelou, na maioria dos horizontes Bw, valores relativamente baixos, contrariando Kämpf et al. (1988), segundo os quais, nos Latossolos, esta relação situa-se entre 0,8 e 1,0. Por outro lado, como sugerido por Fernandes (2000), é possível que os baixos valores desta relação sejam decorrentes dos elevados valores do Fe_S , contido em minerais de Fe mais cristalinos presentes nas frações mais grosseiras (areia e silte da TFSA).

O ataque triácido da TFSA (Quadro 4) mostra que a filiação ultramáfica dos perfis P7 e P10, com destaque para o primeiro, pode ser comprovada pelos teores totais de Ni e Cr, com valores extremamente elevados em P7. De acordo com os dados, tanto o Mn quanto o Ni e Cr, que podem substituir isomorficamente o Mg na estrutura de minerais máficos de alta temperatura (Wilson & Berrow, 1978), mostram sempre resultados elevados nos Cambissolos (P2, P7 e P10), com valores bem menores no Latossolo desenvolvido de rochas metapelíticas do Grupo Bambuí (P4).

Cobre e Zn mostram valores maiores nos Cambissolos, associados às rochas máficas-ultramáficas, enquanto o Ba associou-se apenas às rochas máficas com Ca elevado (P2 e P10), em que os teores de Ni e Cr não são tão elevados, em relação ao P7 (ultramáfica).

Rochas ultramáficas são excepcionalmente ricas em Mg (Dixon, 1989), e os teores totais de Mg na TFSA são um bom indicativo da natureza ultramáfica dos solos menos desenvolvidos (até 8,3 % de Mg no P7), já que grande parte do Mg é perdido no intemperismo avançado. Da mesma forma, os teores de Ca são mais elevados nos Cambissolos P2 e P7, em grande parte associados à maior quantidade de apatita, perowskita e piroxênios nesses solos.

Os teores de Ti, em função de sua baixa solubilidade, foram menos importantes na diferenciação do grau de intemperismo, já que os solos mais jovens são ricos em Ti-magnetita ou ilmenita, enquanto os Latossolos enriqueceram-se em anatásio e Ti-maguemita.

A maior parte do Ti nos solos estudados é de natureza residual (anatásio, titanomagnetita, ilmenita, perowskita) – (Milnes & Fitzpatrick, 1989). Partes do anatásio e da titanomagnetita são minerais secundários formados através do intemperismo, sendo comuns em solos derivados de rochas máficas (Hudson, 1967; Fitzpatrick, 1978). A ocorrência incomum de perowskita ($CaTiO_3$) nos solos da topossequência de Serra Negra (T2) como material detrítico já foi relatada e identificada em complexos alcalinos-carbonáticos de

Quadro 4. Resultados do ataque triácido na fração TFSA dos principais horizontes diagnósticos dos solos das três topolitossequências estudadas

Horizonte	Fe	Ca	Mg	K	P	Ti	Zn	Cu	Mn	Ni	Cr	V	Cd	Pb	Ba	Mo
mg dm ⁻³																
T1 – Topolitossequência Serra do Salitre																
P1 – Latossolo Vermelho ácrico típico (húmico)																
Ap	86.646	760	80	2.620	1.620	28.580	44	70	684	62	242	244	0	8	504	0
Bw2	104.246	500	80	2.680	1.340	30.580	40	78	514	64	240	264	0	14	446	0
P2 – Cambissolo Háplico Ta eutrófico léptico																
A	82.446	2.940	380	16.780	2.140	17.120	100	80	1.360	74	220	200	0	14	658	2
Bi	81.846	1.460	340	17.820	1.740	17.080	82	78	1.168	72	206	198	0	14	604	0
BC	83.446	960	320	19.700	1.640	17.760	74	76	910	68	198	214	0	14	598	0
P3 – Neossolo Litólico Húmico típico																
A	38.446	4.320	80	340	6.000	8.980	40	56	1.072	32	132	80	0	14	558	0
C	24.846	40	20	100	1.160	5.460	10	22	104	24	94	74	0	6	182	0
P4 – Latossolo Vermelho ácrico típico																
A	88.646	80	80	5.920	340	9.000	24	52	98	30	244	220	0	12	78	0
Bw2	98.046	100	140	6.920	260	9.720	18	56	112	32	264	236	8	14	92	0
T2 – Topolitossequência Patrocínio																
P5 – Latossolo Vermelho distrófico húmico																
Ap	144.446	40	100	260	1.200	28.780	30	32	290	84	1.520	344	2	16	0	4
Bw2	158.646	20	80	260	1.020	30.980	28	32	302	74	1.600	368	2	18	0	4
P6 – Latossolo Vermelho-Amarelo ácrico típico																
A	54.446	20	60	180	1.240	39.180	16	24	214	32	960	200	0	18	74	0
Bw2	110.446	20	100	220	1.780	49.180	30	38	404	62	2.000	360	2	42	128	2
P7 – Cambissolo Háplico Ta eutrófico léptico																
A	217.846	10.400	83.400	520	3.400	19.900	218	72	3.160	5.840	2.560	168	0	0	136	0
Bi	281.846	5.060	47.000	320	1.820	16.700	226	58	3.760	5.600	4.400	164	0	0	56	0
BC	327.846	1.020	15.600	340	1.120	16.020	226	62	4.240	5.880	4.960	158	0	0	54	2
P8 – Latossolo Vermelho distrófico húmico																
Ap	143.246	300	100	320	2.220	41.980	42	102	680	140	840	432	2	6	146	0
Bw2	158.046	140	100	340	1.560	48.380	42	100	530	150	1.000	446	0	6	100	0
T3 – Topolitossequência Coromandel																
P9 – Latossolo Vermelho ácrico típico																
Ap	153.246	20	100	500	1.280	37.580	38	58	528	52	520	448	6	28	298	0
Bw2	145.846	20	80	500	860	35.380	30	60	282	44	418	440	4	30	100	0
P10 – Cambissolo Háplico Ta eutrófico léptico																
A	185.846	520	1.020	10.020	2.800	45.980	118	196	1.840	252	680	474	0	8	2058	0
Bi	193.046	560	4.160	23.900	2.960	56.580	162	234	2.200	352	640	442	0	0	2338	0
BC	166.646	1.140	4.580	33.300	4.000	51.780	178	208	3.560	360	680	472	0	14	3938	0
P11 – Latossolo Vermelho distroférico cámbico																
A	273.846	100	140	2.060	2.020	34.380	38	60	368	38	1.040	558	2	22	766	0
Bt	233.846	80	120	3.000	1.260	31.980	32	80	444	42	1.400	440	0	14	470	0
BC	191.246	100	120	4.060	1.060	30.180	32	78	676	44	920	320	0	14	564	6

Uganda (Baldock, 1968), Kenya (Harris, 1966) e no Brasil (van der Veen, 1966; Barbosa et al., 1970).

Com relação às cargas elétricas, algumas inferências podem ser feitas nos solos estudados: (a) a geração de carga positiva permanente relativa à substituição isomórfica de Ti⁴⁺ por Fe³⁺ nos óxidos de Fe, como sugerido por Tessens & Zauyah (1982), em Latossolos titaníferos da Malásia; (b) a possível interação dessa carga positiva com os sítios carregados

negativamente dos argilominerais, favorecendo a agregação (Milnes & Fitzpatrick, 1989).

A distribuição do Ti na areia fina, nos solos estudados, evidencia que tanto os Cambissolos quanto os Latossolos mostraram valores elevados (Quadro 5), com minerais primários (perowskita, ilmenita) contribuindo nos primeiros, e minerais secundários residuais, nos últimos (anatásio, ilmenita e nódulos titaníferos). Apenas os perfis P3 e P4 mostraram valores

Quadro 5. Resultados do ataque triácido na fração areia fina dos principais horizontes diagnósticos dos solos das três topossequências estudadas

Horizonte	Fe	Ca	Mg	K	P	Ti	Zn	Cu	Mn	Ni	Cr	V	Cd	Pb	Ba	Mo
mg dm ⁻³																
T1 – Topolitossequência Serra do Salitre																
P1 – Latossolo Vermelho ácrico típico (húmico)																
Ap	40.046	5.180	280	1.680	340	22.380	18	18	658	20	156	114	0	2	206	0
Bw2	35.246	5.280	280	1.480	280	22.180	16	18	394	14	144	104	0	2	188	0
P2 – Cambissolo Háplico Ta eutrófico léptico																
A	53.846	2.260	300	9.860	720	15.800	48	24	1.040	30	206	124	0	10	438	0
Bi	54.046	1.680	300	9.720	660	15.960	42	26	1.014	28	198	126	0	10	430	0
BC	60.446	1.600	540	11.460	740	18.520	46	32	968	30	202	150	0	10	424	0
P3 – Neossolo Litólico Húmico típico																
A	18.446	2.840	60	380	3.060	5.640	22	28	630	18	74	46	0	12	282	0
C	4.726	520	60	100	100	2.480		4	54	8	60	16	0	10	46	0
P4 – Latossolo Vermelho ácrico típico																
A	15.246	380	280	460	40	1.340	18	12	152	82	304	36	0	48	14	0
Bw2	17.046	480	80	840	20	1.700	22	12	24	10	76	36	0	14	6	0
T2 – Topolitossequência Patrocínio																
P5 – Latossolo Vermelho distrófico húmico																
Ap	116.246	280	340	360	840	38.180	54	32	646	106	2.280	294	0	14	24	2
Bw2	112.846	180	300	80	580	42.180	44	24	692	82	2.480	286	0	0	0	2
P6 – Latossolo Vermelho-Amarelo ácrico típico																
A	87.046	260	640	100	1.160	81.780	80	42	1.142	88	2.560	334	0	0	138	0
Bw2	87.846	360	560	120	920	89.180	60	36	1.360	64	2.440	324	0	0	150	0
P7 – Cambissolo Háplico Ta eutrófico léptico																
A	227.846	18.620	77.400	740	4.080	30.180	266	68	3.440	4.680	7.880	272	0	0	78	0
Bi	247.846	10.580	53.200	560	2.120	34.580	294	46	5.520	4.200	14.120	346	0	0	54	0
BC	323.846	1.900	17.700	340	660	34.380	342	44	7.120	5.040	18.000	374	0	0	62	2
P8 – Latossolo Vermelho distrófico húmico																
Ap	73.646	700	100	220	880	38.180	42	44	514	74	960	272	0	0	90	0
Bw2	56.246	700	120	160	520	34.580	34	30	398	66	1.160	214	0	0	74	0
T3 – Topolitossequência Coromandel																
P9 – Latossolo Vermelho ácrico típico																
Ap	140.846	80	240	160	720	33.580	44	30	904	76	920	402	0	12	204	0
Bw2	117.446	60	120	200	540	31.980	28	36	402	48	720	358	0	18	50	0
P10 – Cambissolo Háplico Ta eutrófico léptico																
A	209.846	460	3.380	5.240	1.120	43.180	118	62	2.240	214	1.280	416	0	0	1.242	0
Bi	289.846	580	7.120	11.000	1.820	74.580	166	134	3.160	424	1.760	598	8	0	1.392	0
BC	235.846	960	4.340	22.900	2.680	66.580	166	128	5.680	338	1.440	612	4	16	3.478	0
P11 – Latossolo Vermelho distroférico câmbico																
A	197.046	180	140	300	920	21.580	22	14	310	24	1.000	450	0	10	172	0
Bw	137.046	160	100	1.200	520	19.980	26	3	468	28	960	260	0	16	190	0
BC	112.846	200	100	1.260	360	20.980	36	30	800	36	840	212	0	12	144	0

baixos de Ti, em virtude da natureza metapelítica (P4) e quartzítica (P3) do material de origem.

A fração argila mostra certa uniformidade dos valores de Ti (Quadro 5) nos Latossolos (18.000 e 30.000 mg L⁻¹), com exceção do Latossolo Vermelho (P4) do Bambuí. O Cambissolo desenvolvido de rocha ultramáfica (P7) também mostrou valores mais baixos, evidenciando maior contribuição de minerais primários.

Os elevados valores de Ti encontrados na fração argila dos perfis P6, P9, P10 e P11 sugerem substituição de Ti⁴⁺ nos óxidos de Fe, gerando carga positiva permanente, o que foi comprovado pelo ΔpH, mostrando carga líquida positiva nestes solos e horizontes estudados. Esse fato pode ter importante repercussão na adsorção de fósforo nos solos estudados, o que demanda estudos mais aprofundados.

Os valores de Ni, Cr e Mn na fração areia (Quadro 5) ou na fração argila (Quadro 6) são variáveis, e não indicam uma homogeneidade da composição ultramáfica do material de origem. O Ni em P7 mostrou valores elevados na argila, indicando expressiva substituição isomórfica do Fe por esse elemento na estrutura dos óxidos de Fe. Já o Cr em P7 permanece ligado aos materiais primários resistentes, possivelmente como substituinte isomórfico de Fe^{2+} ou como cromita. Grande parte do

Ni pode estar substituindo o Mg^{2+} na camada octaédrica de lizardita ($Mg_3Si_2O_5(OH)_4$) – (Dixon, 1989).

Os valores de potássio, tanto na fração areia quanto na argila, são associados à natureza do substrato. No Cambissolo de P7 de rocha ultrabásica, os teores de potássio são bem inferiores aos do Cambissolo de rochas básicas/alcalinas (P2 e P10). Esse fato corrobora a natureza mista do vulcanismo do Triângulo Mineiro, como verificado por Barbosa et al. (1970), ao admitir que coexistem micas nos tufos cineríticos, que foram

Quadro 6. Resultados do ataque triácido na fração argila dos principais horizontes diagnósticos dos solos das três topossequências estudadas

Horizonte	Fe	Ca	Mg	K	P	Ti	Zn	Cu	Mn	Ni	Cr	V	Cd	Pb	Ba	Mo
mg dm ⁻³																
T1 – Topossequência Serra do Salitre																
P1 – Latossolo Vermelho ácrico típico (húmico)																
Ap	130.646	300	140	3.740	2.260	18.080	56	124	414	108	226	260	0	20	480	4
Bw2	155.246	120	140	3.960	1.540	20.180	48	124	438	106	260	318	0	22	440	0
P2 – Cambissolo Háplico Ta eutrófico léptico																
A	90.846	3.080	1.140	9.920	3.840	12.960	126	158	176	114	190	234	0	16	480	0
Bi	109.646	1.820	780	9.740	3.200	15.400	110	158	768	126	216	274	2	16	614	0
BC	121.446	1.140	840	10.680	3.080	17.080	94	152	648	124	226	306	0	20	508	0
P3 – Neossolo Litólico Húmico típico																
A	54.546	15.280	100	1.000	16.000	9.680	94	160	1.620	110	140	120	0	18	658	0
C	110.846	780	100	1.000	7.200	18.580	54	100	230	110	280	320	0	38	438	0
P4 – Latossolo Vermelho ácrico típico																
A	97.846		60	6.840	420	5400	26	84	92	42	276	266	4	16	0	0
Bw2	122.446	40	100	6.780	340	7460	24	78	120	40	914	284	0	12	14	0
T2 – Topossequência Patrocínio																
P5 – Latossolo Vermelho distrófico húmico																
Ap	145.246	120	80	420	1.120	18.520	26	38	132	64	1.080	318	0	24	0	4
Bw2	152.046	40	80	300	980	19.820	22	32	134	62	1.120	332	2	20	0	4
P6 – Latossolo Vermelho-Amarelo ácrico típico																
A	102.046	60	60	620	2.200	24.380	24	40	86	62	1.640	322	0	60	212	4
Bw2	109.246	60	60	460	1.820	25.180	28	38	94	58	1.680	328	0	58	202	4
P7 – Cambissolo Háplico Ta eutrófico léptico																
A	160.346	580	65.000	950	1.400	5.480	224	90	2.710	6.800	400	65	0	13	73	0
Bi	239.846	580	29.800	1.000	1.800	4.980	244	110	2.540	6.800	1.220	70	0	0	0	0
BC	249.846	380	15.500	500	2.000	4.880	214	130	2.400	6.400	920	70	10	0	0	0
P8 – Latossolo Vermelho distrófico húmico																
Ap	161.446	520	100	740	3.060	24.780	50	168	518	166	520	428	4	10	64	0
Bw2	203.846	140	120	600	1.960	28.580	42	144	372	190	680	504	6	18	54	2
T3 – Topossequência Coromandel																
P9 – Latossolo Vermelho ácrico típico																
Ap	139.046	60	80	900	1.100	24.780	22	56	282	40	272	372	2	26	170	0
Bw2	142.846	500	8.240	2.0100	1.960	25.580	88	208	642	254	458	282	0	10	1.070	2
P10 – Cambissolo Háplico Ta eutrófico léptico																
A	140.246		80	580	740	16.360	24	58	148	38	288	372	2	26	0	0
Bi	135.646	380	13.020	29.500	2.020	23.980	118	218	922	304	240	218	0	6	1.030	0
BC	115.446	980	18.680	32.100	2.400	25.980	132	202	782	358	240	248	0	6	966	0
P11 – Latossolo Vermelho distrófico cámbico																
A	141.246	60	80	6.180	1.800	28.580	36	86	240	38	332	320	0	22	498	0
Bt	211.846	40	100	4.060	1.240	28.580	24	108	260	42	560	394	4	18	258	0
BC	227.846	60	120	5.200	1.420	30.580	26	112	416	54	600	356	2	16	616	0

submetidos a intenso hidrotermalismo pós-deposicional.

Mineralogia da argila

A constituição mineralógica da fração argila das amostras dos solos estudados (Quadro 7) é composta basicamente por caulinita, gibbsita, goethita, hematita, anatásio, vermiculita com hidróxi entre camadas, esmectitas e illita.

Nos Latossolos dos perfis P1 e P4 da topolitossequência Serra do Salitre, a presença de caulinita, vermiculita com hidróxi entre camadas e illita poderia ser indicativa de solos menos evoluídos. Entretanto, concomitantemente ocorre a presença da gibbsita, o que sugere um intenso processo de dessilificação atual sobre o tufito. De acordo com Ibraimo (2000), esse fato deve-se possivelmente à ocorrência de transformações diretas dos minerais primários de fácil intemperização para gibbsita, em solos pouco desenvolvidos sobre rochas alcalinas. O mesmo se aplica aos perfis P7 e P2 desenvolvidos de rochas ígneas.

Com base nos difratogramas (não mostrado) foi observada relação inversa entre a intensidade dos picos da gibbsita e os valores de Ki obtidos por digestão sulfúrica. Nos perfis P6 e P10, foram identificados os menores e maiores intensidades do pico referente ao plano (002) da gibbsita, respectivamente. Os valores de Ki foram coerentes com essas diferenças

mineralógicas (Quadro 3). Exceção foi o perfil P7, cujos valores nos horizontes A e Bi foram muito maiores do que os citados na literatura. Nesse caso, os altos valores de Ki devem-se provavelmente a uma solubilização maior do Si da estrutura de minerais primários da fração mais grossa do solo (areia e, ou, silte) durante o procedimento de digestão.

CONCLUSÕES

1. Os Latossolos do Alto Paranaíba são extremamente intemperizados e com índices Ki e Kr muito baixos, indicativos de solos ricos em óxidos de Fe e de Al. Com base nos dados químicos e físicos, constatou-se que os Latossolos apresentam extremo grau de intemperismo, não possuem uma filiação definida com os materiais de origem subjacentes, provavelmente em virtude de intensa pedoturbação e, ou, mistura com materiais alóctones.

2. Entre os solos mais jovens, os dados químicos indicam a filiação máfica (P2) ou ultramáfica (P7 e P10) nos Cambissolos, enquanto no P3 de Neossolo Litólico da topolitossequência Serra do Salitre, mesmo em textura arenosa, ocorre horizonte A chernozêmico, em virtude da riqueza em apatita do material quartzítico, proveniente do enriquecimento decorrente do magmatismo máfico/ultramáfico.

Quadro 7. Composição mineralógica por difratometria de raios-X da fração argila de horizontes dos solos das três topolitossequências estudadas

Topolitossequência	Perfil	Horizonte	Composição mineralógica da fração argila
Serra do Salitre	P1	A	Il, Ct, Gb, An
		Bw ₂	VHE, Il, Ct, Gb, An
	P2	A	Esm, Il, Ct, Gb, An
		Bi	Esm, Il, Ct, Gb, An
	P3	A	VHE, Il, Ct, Gb, An
		C	VHE, Il, Ct, Gb, An
	P4	A	VHE, Il, Ct, Gb, Gt, An
		Bw ₂	VHE, Il, Ct, Gb, Gt, An
Patrocínio	P5	Ap	Ct, Gb, An
		Bw ₂	Ct, Gb, An
	P6	A	Ct, Gb, Gt, An
		Bw ₂	Ct, Gb, Gt, An
	P7	A	VHE, Il/Esm, Ct, Gb, Gt, An
		Bi	VHE, Il/Esm, Ct, Gb, Gt, An
	P8	Ap	VHE, Ct, Gb, An
		Bw ₂	VHE, Ct, Gb, An
Coromandel	P9	Ap	VHE, Ct, Gb, An
		Bw ₂	VHE, Ct, Gb, An
	P10	A	Esm, Il, Ct, Gb, An
		Bi	Esm, Il, Ct, Gb, An
	P11	A	Il, Ct, Gb, Gt, An
	Bw	Il, Ct, Gb, Gt, An	

Il: illita; Ct: caulinita; VHE: vermiculita com hidróxi entre camadas; Gb: gibbsita; Gt: goethita; Esm: esmectita; An: anatásio.

3. As assinaturas geoquímicas mais evidentes da natureza ultramáfica (P7) foram os teores elevados de Cr, Ni e Mn, além de Fe e Mg. Nos perfis P10 e P2 de Cambissolos, os elevados teores de Ba, K, P e Ti, além de Fe e Mn, denotam o caráter máfico misto, com presença atípica de minerais micáceos, provenientes do vulcanismo explosivo, sendo, portanto, muito distintos do vulcanismo basáltico, pobre em K.

4. A mineralogia da fração argila dos Latossolos indica a coexistência de VHE, caulinita, gibbsita e anatásio, evidenciando uma gênese policíclica dos minerais da fração mais fina e o extremo grau de intemperismo alcançado. Nos Cambissolos, a rápida dessilificação atual conduz à coexistência de gibbsita e óxidos de Fe com esmectitas e illitas, em virtude da rápida ação do intemperismo em substratos pobres em sílica, como é o caso das rochas máficas ou ultramáficas-alcálicas.

LITERATURA CITADA

- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CATARUTI, R.B. & LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5^a aproximação. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.
- BALDOCK, J.W. Calzirtite and the mineralogy of residual soil from the Bukusu carbonatite complex, South Eastern Uganda. *Mineral. Mag.*, 36:770-774, 1968.
- BARBOSA, O.; BRAUN, O.P.G.; DYER, R.C. & CUNHA, C.A.B.R. Geologia da Região do Triângulo Mineiro. Rio de Janeiro, DNP/DFPM, 1970. 140p. (Boletim, 136)
- BRAUN, O.P.G. Eight International Soil Classification Workshop. CAMARGO, C.B., ed. Classification, Characterization and Utilization of Oxisols: vol 2 Pedon Description and Analytical data, EMBRAPA, 1988. 239p.
- CARMO, D.N.; CURTI, N. & RESENDE, M. Caracterização e gênese de Latossolos da Região do Alto Paranaíba -MG. *R. Bras. Ci. Solo*, 8:235-240, 1984.
- COEY, J.M.D.; FABRIS, J.D. & RESENDE, M. ⁵⁷Fe Mössbauer studies of Oxisols. *Hyperfine Inter.*, 66:51-62, 1991.
- CURI, N. & FRANZMEIER, D.P. Effect of parent rocks on chemical and mineralogical properties of some Oxisols in Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51:153-158, 1987.
- CURI, N. & FRANZMEIER, D.P. Toposequence of Oxisols from the Central Plateau of Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:341-346, 1984.
- DIXON, J.B. Kaolin and serpentine group minerals. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. Minerals in soil environments. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.467-526.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento: Normas em uso pelo SNLCS. Rio de Janeiro, 1988a. 67p. (Documentos SNLCS, 11)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 2006. 412p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., Rio de Janeiro, 1988. Anais. Rio de Janeiro, 1988b. 425p.
- FERNANDES, R.B.A. Atributos mineralógicos, cor, adsorção e desorção de fosfatos em Latossolos do Sudeste Brasileiro. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2000. 265p. (Tese de Doutorado)
- FERREIRA, S.A.D.; SANTANA, D.P.; FABRIS, J.D.; CURTI, N.; NUNES FILHO, E. & COEY, J.M.D. Relações entre magnetização, elementos traços e litologia de duas seqüências de solos do Estado de Minas Gerais. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:167-174, 1994.
- FITZPATRICK, R.W. Occurrence and properties of iron and titanium oxid soils along the Eastern Seaboard of South Africa. Natal, University Natal, 1978. (Tese de Doutorado)
- GUIMARÃES, D. Contribuição ao estudo dos tufos vulcânicos da Mata da Corda. Belo Horizonte, Instituto Técnico Industrial, 1955. 27p. (Boletim, 18)
- HARRIS, P.M. Pandaite from Mrima Hill niobium deposit (Kenya). *Miner. Mag.*, 35:277-290, 1966.
- HUDSON, D.R. The vanadium-bearing magnetite gabbro at Coastes, Western Australia. *J. Royal Soc. West. Austral.*, 50:60-64, 1967.
- IBRAIMO, M.M. Solos sob caatinga da região dos lagos, RJ: Gênese e relações geomorfológicas. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2000. 82p. (Tese de Mestrado)
- KÄMPF, N. O ferro no solo. In: REUNIÃO SOBRE FERRO EM SOLOS INUNDADOS, 1., Goiânia, 1988. Anais... Goiânia, Embrapa - CNPAF, 1988, p.35-71.
- KÄMPF, N.; RESENDE, M. & CURTI, N. Iron oxides in Brazilian Oxisols. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP: CLASSIFICATION, CHARACTERIZATION AND UTILIZATION OF OXISOLS, 8., 1986, Rio de Janeiro. Proceedings. Rio de Janeiro, Embrapa, SMSS, AID, UPR, 1988. Part 1. p.71-77.
- KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. Relações entre óxidos de ferro e a cor em solos caulínicos do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:27-31, 1983.

- KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. The 5-M-NaOH concentration treatment for iron oxides in soils. *Clays Clays Miner.*, 30:401-408, 1982.
- KER, J.C. Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de latossolos do Brasil. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 181p. (Tese de Doutorado)
- McKEAGUE, J.A. & DAY, J.H. Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soil. *Can. J. Soil Sci.*, 46:13-22, 1966.
- MEHRA, J.P. & JACKSON, M.L. Iron oxides removal from soils and clays by a dithionite-citrate-bicarbonate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Miner.*, 7:317-327, 1960.
- MELFI, A.J.; PEDRO, G.; NALOVIC, L. & QUEIROZ NETO, J.P. Étude sur l'alteration géochimique des itabirites du Brésil. Dissolution du quartz et instabilité de l'hématite primaire en conditions tropicales hydrolysantes. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, 3:179-192, 1976.
- MIKLÓS, A.A.W. Byodinamique d'une couverture pedologique dans la region de Botucatu, Brésil. Paris, Université Paris, 1992. 438p. (Tese de Doutorado)
- MILNES, A.R. & FITZPATRICK, R.W. Titanium and zirconium minerals. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. *Minerals in soil environments*. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.1131-1194.
- OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.T. & CAMARGO, M.N. Classes gerais de solos do Brasil: Guia auxiliar para seu reconhecimento. 2.ed. Jaboticabal, FUNEP, 1992. 201p.
- RAMOS, D.P. Latossolos brasileiros: Um novo enfoque para o reconhecimento de características diferenciais. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1981. 184p. (Tese de Doutorado)
- RESENDE, M. Mineralogy, chemistry, morphology and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brazil. West Lafayette, Purdue University, 1976. 237p. (Tese de Doutorado)
- RESENDE, M. & SANTANA, D.P. Uso das relações K_i e K_r na estimativa da mineralogia para a classificação dos Latossolos. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., Rio de Janeiro, 1988. Anais. Rio de Janeiro, Embrapa – SNLCS, SBCS, 1988. p.225-232.
- RESENDE, M.; SANTANA, D.P.; FRANZMEIER, D.P. & COEY, J.M.D. Magnetic properties of Brazilian Oxisols. In: CAMARGO, M.N. & BEINROTH, F.H., eds. *INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP*, 8., Rio de Janeiro, 1986. Anais. Brasília, Embrapa–SNLCS /USDA-SCS/SMSS, 1986. p.78-108.
- ROLIM NETO, F.C.; SCHAEFER, C.E.G.R.; COSTA, L.V.; CORRÊA, M.M.; FERNENDES FILHO, E.I. & IBRAIMO, M.M. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba (Mg). *R. Bras. Ci. Solo*, 28:953-964, 2004.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C. & ANJOS, L.H. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.
- SARCINELLI, T.; SCHAEFER, C.E.G.R.; LYNCH, L.; ARATO, H.; VIANA, J.; FILHO, M. & GONCALVES, T. Chemical, physical and micromorphological properties of termite mounds and adjacent soils along a toposequence in Zona da Mata, Minas Gerais State, Brazil. *Catena*, 76:107-113, 2009.
- SCHAEFER, C.E.G.R. The B horizon microstructure of Brazilian Latosols as long-term biotic constructs. *Austr. J. Soil Res.*, 39:909-926, 2001.
- SCHAEFER, C.E.G.R. Relatório final: Geomorfologia. In: MUNIZ, J.N. & RAMOS, M.M., Coords. *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paranaíba*. 1999. (Convênio FUNARBE/Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais – Rural Minas)
- SCHAEFER, C.E.G.R.; FABRIS, J.D. & KER, J.C. Minerals in the clay fraction of Brazilian Latosols (Oxisols): A review. *Clay Miner.*, 43:1-18, 2008.
- SCHWERTMANN, U. The effect of environments on iron oxide minerals. *Adv. Soil Sci.*, 1:172-200, 1985.
- TESSENS, E. & ZAUZYAH, S. Positive permanent charge in Oxisol. *Soil Sci. J.*, 46:1103-1106, 1982.
- van der VEEN, A.H. Calzirtite and associated minerals from Tapira, Brasil. *Miner. Mag.*, 35:544-546, 1966.
- WILSON, M.J. & BERROW, M.L. The mineralogy and heavy metal content of some serpentine soils in Northeast Scotland. *Chemie Erde*, 37:181-205, 1978.