

DIVISÃO 1 - SOLO NO ESPAÇO E NO TEMPO

Comissão 1.2 - Levantamento e classificação no solo

PEDOGÊNESE E CLASSIFICAÇÃO DE LATOSSOLOS DESENVOLVIDOS DE ITABIRITOS NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MG⁽¹⁾

Samuel Ângelo Diógenes Costa⁽²⁾, João Carlos Ker⁽³⁾, Diana Ferreira de Freitas Simões⁽⁴⁾,
Maurício Paulo Ferreira Fontes⁽³⁾, José Domingos Fabris⁽⁵⁾ & Felipe Vaz Andrade⁽⁶⁾

RESUMO

Localizado na porção centro-oeste do Estado de Minas Gerais, o Quadrilátero Ferrífero abrange uma área de aproximadamente 7.000 km². Desde o século XVII, a região é conhecida como uma província aurífera e ferrífera, sendo por essa razão uma das regiões mais bem estudadas do Brasil no contexto geológico. A região é de topografia muito acidentada, onde predominam solos pouco evoluídos pedogeneticamente, com destaque para Cambissolos Háplicos, Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos. Em menor proporção e em rampas de colúvio (relevo suave ondulado), ocorrem Latossolos Vermelhos muito ricos em Fe, anteriormente denominados Latossolos Ferríferos. Neste trabalho, foram realizados estudos para caracterizar física, química e mineralogicamente amostras de nove perfis de Latossolos Vermelhos férricos e perférricos, desenvolvidos de itabirito e rochas afins no Quadrilátero Ferrífero, com os objetivos de melhor entender sua gênese e avaliar critérios taxonômicos que permitam sua diferenciação no SiBCS, em níveis categóricos mais baixos. Os elevados valores de densidade de partículas são peculiares nesses solos e, ao lado da estrutura forte, muito pequena e granular, são fatores que contribuem para subestimar os teores de argila e superestimar os de silte, resultando em relação silte/argila maior do que aquela proposta pelo SiBCS para os Latossolos. A variação dos teores de SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, TiO₂, MnO, P₂O₅ e de alguns elementos-traço aponta para a diversidade na composição química do itabirito ou, ainda, provável mistura com rochas filíticas da região. Os valores das relações Fe₂O₃/TiO₂ (não molecular) e TiO₂/Fe₂O₃ (molecular) revelaram-se

⁽¹⁾ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa - DPS/UFV. Recebido para publicação em 21 de janeiro de 2013 e aprovado em 7 de agosto de 2013.

⁽²⁾ Mestre em Solos e Nutrição de Plantas, DPS/UFV. Av. P. H. Rolfs, s/n. CEP 36570-900 Viçosa (MG). E-mail: eng.agro.samuel@gmail.com

⁽³⁾ Professor, DPS/UFV. E-mail: jcker@ufv.br, mpfontes@ufv.br

⁽⁴⁾ Professor, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada. Fazenda Saco, s/n. CEP 56903-970 Serra Talhada (PE). E-mail: freitasdf.solos@gmail.com

⁽⁵⁾ Professor visitante, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Campus J. K. Bloco 5 - Sala B. Rodovia MG 367, Km 583. Alto Jacuba. CEP 39100-000 Diamantina (MG). E-mail: fabris@delalus.lcc.ufmg.br

⁽⁶⁾ Professor, Departamento de Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo. Alto Universitário, s/n. CEP 29500-000 Alegre (ES). E-mail: felipe.andrade@ufes.br

diferentes daqueles sugeridos na literatura para separação de Latossolos Vermelhos desenvolvidos de itabirito daqueles de rochas máficas. As frações areia, silte e argila apresentaram grande variação na atração magnética, com as duas primeiras frações evidenciando maior magnetização, em razão da presença de magnetita. Os valores de substituição isomórfica de Fe por Al variaram 0,07 a 0,11 e 0,09 a 0,38 mol mol⁻¹ nas estruturas da hematita e magnetita, respectivamente.

Termos de indexação: óxidos de ferro, substituição isomórfica de Fe³⁺ por Al³⁺, magnetização, elementos-traço, solos ferríferos, itabirito.

SUMMARY: PEDOGENESIS AND CLASSIFICATION OF LATOSOLS DEVELOPED FROM ITABIRITES IN THE REGION OF QUADRILÁTERO FERRÍFERO IN MINAS GERAIS

Located in the Midwest of the State of Minas Gerais, a region called Quadrilátero Ferrífero covers an area of approximately 7,000 km². Since the seventeenth century, it is known as gold- and iron-producing province, and the geological context is therefore one of the best-studied of Brazil. The regional topography is very rugged, with mostly poorly developed pedogenesis, especially Cambissolos Háplicos, Neossolos Litólicos and Neossolos Regolíticos. In a smaller proportion and on colluvial ramps (hilly relief), very Fe-rich Latossolos Vermelhos occur, formerly Latossolos Ferríferos. This study characterized the physical, chemical and mineralogical properties of samples from nine ferric and hyperferric Latossolo Vermelho profiles, developed from itabirite and related rocks in the Quadrilátero Ferrífero, with the objectives of improving the understanding of their genesis and establish taxonomic criteria for their differentiation in the SiBCS at lower categorical levels. The high particle density values in these soils are peculiar and along with the strong, very small and granular structure, are factors that contribute to underestimate clay and overestimate silt, resulting in a higher silt/clay ratio than proposed by SiBCS for Latossolos. Variations in the levels of SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, TiO₂, MnO, P₂O₅, and of some trace elements indicate the diversity in the chemical composition of itabirite or a probable mixture with phyllitic rocks of the region. The ratios of Fe₂O₃/TiO₂ (non-molecular) and TiO₂/Fe₂O₃ (molecular) reported in the literature for separation of Latossolos Vermelhos differed between soils developed from itabirite and from mafic rocks. The magnetic attraction in sand, silt and clay varied greatly; due to the presence of magnetite, magnetization was higher in the former two fractions. The values of isomorphic Al-for-Fe substitution ranged from 0.07 to 0.11 and from 0.09 to 0.38 mol mol⁻¹ in the structures of hematite and magnetite, respectively.

Index terms: iron oxides, isomorphic substitution of Fe³⁺ by Al³⁺; magnetization, trace elements, iron-rich soils, itabirite.

INTRODUÇÃO

O Quadrilátero Ferrífero (QF) se estende por uma área de aproximadamente 7.000 km², no centro-oeste do Estado de Minas Gerais, e representa uma das mais importantes regiões geológicas do país, em razão de sua riqueza mineral, com destaque para ferro, manganês e, no passado, ouro. A topografia é muito acidentada e resultante de metamorfismos polifásicos, com relevo variando do forte ondulado ao escarpado, com cotas altimétricas entre 600 a 2.100 m. Apresenta grande variedade litológica, com destaque para rochas ricas em ferro (itabiritos), responsáveis pelo nome da região (Barbosa & Rodrigues, 1965; Dorr II, 1969; Ladeira & Viveiros, 1984; Carvalho Filho, 2008).

Predominam na área do QF, solos rasos e pouco profundos, prevalecendo Cambissolos, Neossolos Litólicos, Neossolos Regolíticos e Plintossolos Pétricos ricos em ferro, quando desenvolvidos a partir de

itabirito e rochas afins, em áreas de relevo forte ondulado a escarpado. Latossolos Vermelhos perférricos e férricos ocorrem em pequena extensão em rampas de colúvio suavemente onduladas ou onduladas. São comuns, ainda, os afloramentos de concreções ferruginosas ou canga laterítica. Os Latossolos ricos em Fe encontrados no QF, motivo deste trabalho, enquadram-se nos matizes 10R e 2,5YR, com teores de Fe₂O₃ do ataque sulfúrico variando de 300 a 780 g kg⁻¹ e magnetização variável, geralmente forte. São, em sua maioria, distróficos e ácidos (Camargo, 1982; Oliveira et al., 1983; Embrapa, 1998; Oliveira et al., 1992; Resende et al., 1988a; Costa, 2003; Carvalho Filho, 2008) e de baixa potencialidade agrícola.

No atual SiBCS, os antigos Latossolos Ferríferos (LF) (desenvolvidos de itabiritos e rochas associadas) encontram-se agrupados aos também antigos Latossolos Roxos (LR), desenvolvidos de rochas máficas, sob a denominação Latossolos Vermelhos

distróféricos e perféricos, (Embrapa, 1999, 2006, 2013). Além dos elevados teores de Fe_2O_3 ($> 300 \text{ g kg}^{-1}$ pelo H_2SO_4) na terra fina e elevada magnetização, ainda apresentam características marcantes como baixa relação molecular $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ e alta relação $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$, sendo essa última um dos atributos sugeridos por Curi & Franzmeier (1987) para distingui-los dos Latossolos Roxos, bem antes do lançamento do SiBCS. Mais recentemente, Carvalho Filho (2008) sugeriu a relação molecular $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0,10$ em conjunto com teores de Fe_2O_3 do ataque sulfúrico $\geq 330 \text{ g kg}^{-1}$, como mais indicados para a separação entre Latossolos Vermelhos férricos e perféricos de itabirito daqueles de rochas máficas, sobretudo basalto e tufito. A preocupação em separá-los taxonomicamente deve-se, entre outros fatores, ao fato de os antigos LF possuírem potencialidade agrícola muito menor do que aquela dos LR.

Prevalecem na fração argila dos Latossolos Vermelhos derivados de itabirito, hematita, goethita e maghemita, com menores proporções de gibbsita e caulinita, em razão do baixo teor de Al na rocha de origem (Brasil, 1986; Curi & Franzmeier, 1987; Embrapa, 1988; Antonello et al., 1988; Kämpf et al., 1988; Resende et al., 1988b; Ker & Schaeffer, 1995; Fabris et al., 1997b; Costa, 2003; Carvalho Filho 2008). É comum ainda, ocorrer substituição isomórfica de Fe por Al, na estrutura cristalina dos oxi-hidróxidos de Fe (Norrish & Taylor, 1961; Resende, 1976; Curi, 1983; Schwertmann, 1988; Fontes, 1988; Ker, 1995; Cornell & Schwertmann, 1996; Kämpf & Curi, 2000, entre vários outros). Além do Al, outros elementos podem substituir o Fe na estrutura dos oxi-hidróxidos de Fe, tais como Co, Cr, Ni, Mn e Si (Schwertmann, 1988), por isso, alguns desses oxi-hidróxidos são considerados como grande fonte de reserva de alguns elementos-traço, alguns deles micronutrientes, sobretudo a magnetita (Nalovic & Segalen, 1973; Resende et al., 1988a; Ferreira et al., 1994; Oliveira et al., 2000; Carvalho Filho, 2008).

O objetivo deste estudo foi caracterizar Latossolos desenvolvidos a partir de itabiritos e rochas associadas na região do Quadrilátero Ferrífero, com o propósito de melhor conhecer suas características físicas, químicas e mineralógicas, bem como o entender sua gênese e avaliar mais atributos diagnósticos que permitam seu melhor enquadramento taxonômico em níveis hierárquicos mais baixos no atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram descritas e coletadas amostras de horizontes de nove perfis de Latossolos Vermelhos, sendo sete perféricos (P1, P2, P3, P4, P5, P7 e P8) e dois férricos (P6 e P9), em áreas do Quadrilátero Ferrífero do Estado de Minas Gerais, nos municípios de Barão de Cocais (P1), Guanhães (P2), Belo Horizonte (P3), Mariana

(P4), Itabira (P5), Nova Lima (P6 e P7) e Santa Bárbara (P8 e P9), derivados de itabirito, ou rochas afins, da Formação Cauê (Supergrupo Minas) (Dorr II, 1969; Brasil, 1986; Silva et al., 2005). Todos os perfis foram coletados no terço inferior de rampas de colúvio de relevo local suave ondulado a ondulado, em área de campo cerrado, com exceção do P5 (relevo forte ondulado, floresta tropical perenifolia). A descrição morfológica dos perfis foi realizada de acordo com Santos et al. (2005).

As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de abertura de 2 mm. Na fração menor que 2 mm (terra fina seca ao ar - TFSA), realizaram-se as determinações da densidade das partículas (Dp), argila dispersa em água (ADA) e análise granulométrica. A separação das frações areia, silte e argila foi realizada considerando a densidade das partículas (Dp) para o tempo de sedimentação calculado para cada solo, conforme a Lei de Stokes. Ao final, foram calculados o grau de floculação e a relação silte/argila (Embrapa, 1997).

As análises químicas constaram de pH em água e em KCl 1 mol L^{-1} (relação solo:solução de 1:2,5); Na^+ e K^+ por fotometria de chama, após extração com Mehlich-1; Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} extraídos com KCl 1 mol L^{-1} e determinados por espectrometria de absorção atômica (Ca^{2+} e Mg^{2+}) e por titulometria (Al^{3+}); e H+Al extraídos com acetato de cálcio 0,5 mol L^{-1} a pH 7,0. A partir desses dados, calcularam-se: a capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (T), capacidade de troca de cátions efetiva (t) e saturação por bases (V%) e por alumínio (m%). O P disponível foi extraído por Mehlich-1 e determinado por colorimetria (Embrapa, 1997). Os teores de carbono orgânico (CO) foram determinados por oxidação via úmida (Yeomans & Bremner, 1988).

O ataque sulfúrico foi realizado na TFSA para as determinações dos teores de Fe, Al, Ti, P, Mn e Si (Embrapa, 1997). Foram calculadas as relações moleculares Ki, Kr, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$, $\text{TiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$, $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ (não molecular). Para a extração dos elementos-traço Cu, Cd, Ni, Zn, Cr e Mn, realizou-se o ataque triácido da TFSA (Embrapa, 1997); esses elementos foram determinados posteriormente por espectroscopia de absorção atômica. Para efeito de comparação, foram avaliados os resultados dos teores de elementos-traço do horizonte Bw de Latossolos Vermelhos férricos desenvolvidos de basalto e de tufito, obtidos por outros autores.

Os óxi-hidróxidos de Fe cristalinos (Fed) foram extraídos da fração argila com ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) (Mehra & Jackson, 1960), em extrações sequenciais até a descoloração das amostras. Para a quantificação das formas de Fe menos cristalinas (Feo), utilizou-se oxalato de amônio 0,2 mol L^{-1} a pH 3,0, na ausência de luz (McKeague, 1978). Os teores de Fed e Feo foram determinados por espectroscopia de absorção atômica.

Difratogramas de raios-X foram obtidos em difratômetro com radiação $\text{CoK}\alpha$ e monocromador de

grafite, a uma taxa de incremento de $0,02^\circ 2\theta$ por $0,5$ s, entre 4 e $45^\circ 2\theta$ (argila natural e desferificada saturada com K) e 10 e $80^\circ 2\theta$, para as lâminas concentradas em óxidos (Kämpf & Schwertmann, 1982). Por meio dos dados do ataque sulfúrico e dos espectros de difração de raios-X, obtidos da fração argila, concentrados em óxidos de Fe, foi realizada a quantificação por alocação (Resende et al., 1987) dos minerais hematita, goethita, maghemita, ilmenita, anatásio, caulinita e gibbsita, efetivada com o uso do *software* ALOCA (Moura Filho et al., 1995).

O cálculo da substituição isomórfica de Fe^{3+} por Al^{3+} na estrutura da goethita (Gt) foi realizado conforme Schulze (1984) e o da hematita (Hm), de acordo com Schwertmann et al. (1979). Utilizou-se o deslocamento do pico de silício (Si) como padrão interno para a correção dos picos e o cálculo da substituição isomórfica de Fe^{3+} por Al^{3+} , na estrutura dos óxidos de Fe. Foi estabelecida a relação $Hm/(Hm+Gt)$, a partir dos difratogramas de raios-X das amostras de argila concentradas em óxidos de Fe, por meio da razão entre as áreas dos picos 012 da Hm e 110 e 111 da Gt (Schulze, 1984). A medida de magnetização de saturação foi realizada nas amostras, à temperatura ambiente, em magnetômetro portátil, em campo magnético fixo de $0,3$ Tesla, com padrão de Ni ($0,0253$ g) (Coey et al., 1992). Conhecendo-se a massa da amostra, a magnetização foi deduzida.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atributos morfológicos e físicos

Todos os solos apresentaram estrutura forte, muito pequena e pequena granular no horizonte B (Quadro 1), característica peculiar de Latossolos desenvolvidos a partir de itabiritos no Quadrilátero Ferrífero (Curi, 1983; Lima, 1988; Embrapa, 1988; Ker & Schaefer, 1995; Costa, 2003; Carvalho Filho, 2008). Os valores de densidade das partículas (D_p) foram elevados e variaram entre $2,85$ e $4,34$ $kg\ dm^{-3}$ (Quadro 1), refletindo a participação expressiva de minerais de Fe, nas frações argila, silte e areia. Hematita, goethita, maghemita e magnetita apresentam D_p em torno de $5,2$; $4,3$; $4,8$; e $5,2$ $kg\ dm^{-3}$, respectivamente (Klein & Hurlbut Jr., 1993). Para os perfis P3 e P6 (Quadro 1), a menor D_p indicou possível heterogeneidade do material de origem ou mistura de rochas itabiríticas com filito.

Constatou-se tendência de maiores teores de argila nos solos com menores valores de D_p , principalmente para os perfis P3 e P6 (Quadro 1), provavelmente em razão da influência de material mais argiloso (filito). Nos solos com maiores valores de D_p , foram expressivos os teores de silte (“silte funcional”), não raramente ultrapassando os teores de argila. De acordo com Donagemma et al. (2003), o teor de argila pode aumentar mais que o dobro nos Latossolos Vermelhos perférricos, quando se leva em consideração a D_p no tempo de

sedimentação durante a análise granulométrica de rotina. Tudo indica que, com esses valores elevados de D_p , muitas partículas depositam-se mais rapidamente que o tempo preestabelecido para sedimentação em análises de rotina; ou seja, possivelmente haverá subestimação dos teores de argila e superestimação dos de silte, resultando no expressivo aumento da relação silte/argila. A rigor, com base somente nessa relação, alguns dos Latossolos estudados mereceriam a adjetivação de cambissólicos pelo atual SiBCS.

Os teores de argila dispersa em água (ADA) foram baixos (Quadro 1) e, em consequência, foram altos os valores do grau de flocculação, à exceção do horizonte Ap do P7. Esses resultados encontram-se em concordância com aqueles obtidos por outros autores (Oliveira et al., 1983; Curi, 1983; Embrapa, 1988; Ker & Schaefer, 1995; Donagemma et al., 2003) e refletem a natureza oxidica dos solos estudados, sobretudo aqueles de Fe.

No que se refere à ocorrência dos Latossolos na paisagem, pode-se afirmar que esses, em sua maior parte, encontram-se sob campo cerrado de altitude, em rampas de colúvio de relevo suave ondulado e ondulado, podendo ou não apresentar concreções ferruginosas no horizonte Bw (endopetroplínticos). O P5 (Itabira) foi o único perfil coletado em área de relevo mais movimentado, sob floresta tropical perenifolia.

Atributos químicos

Os teores de carbono orgânico variaram de $19,5$ a $71,4$ $g\ kg^{-1}$ (média de $27,76$ $g\ kg^{-1}$) no horizonte A (Quadro 2), condizentes com as condições climáticas do QF: temperaturas amenas e precipitação pluvial elevada. Destaca-se, aqui, que nem sempre a separação do horizonte A do Bw é fácil, em razão do mascaramento de cor ditado pela forte ação pigmentante da hematita. Fontes & Carvalho Jr. (2005), estudando Latossolos goethíticos e hematíticos, também encontraram maior facilidade em distinguir os horizontes A e B dos solos hematíticos em razão do alto poder pigmentante da hematita.

Os valores de $pH(H_2O)$ nos horizontes A e Bw (Quadro 2) indicam solos com reação ácida. Resultados semelhantes foram também constatados por outros autores para Latossolos desenvolvidos de itabirito no Quadrilátero Ferrífero (Curi, 1983; Oliveira et al., 1983; Embrapa, 1988; Costa, 2003; Carvalho Filho, 2008). No horizonte A da maioria dos solos estudados, foram observados valores de ΔpH negativos, reflexo do maior teor de carbono orgânico. No horizonte Bw dos Latossolos, à exceção do P6, os valores de ΔpH foram positivos e refletiram a natureza oxidica (ácricos) deles.

Os Latossolos Ferríferos são solos que apresentam sérias limitações para uso agrícola, em razão das baixas saturação por bases e CTC efetiva (Quadro 2), reflexo dos baixos teores de cátions trocáveis do complexo de troca dos solos e da composição mineral do itabirito, composto basicamente por hematita, magnetita e quartzo (Brasil, 1986). Os solos também apresentaram baixos teores de P disponível (Mehlich-1). Esses dados

Quadro 1. Atributos morfológicos e físicos de horizontes selecionados de Latossolos Vermelhos do Quadrilátero Ferrífero

Hor.	Prof.	Estrutura	AG	AF	S	A	ADA	GF	S/A	Dp
	cm		g kg ⁻¹					%		kg dm ⁻³
P1 - Latossolo Vermelho perférrico típico endoconcrecionário										
A	0-20	ft p gr	510	140	220	130	26	80	1,69	4,25
Bw1	40-60	ft mp gr	450	150	210	190	35	82	1,11	4,34
Bw2	80-100	ft mp gr	390	180	290	140	24	83	2,07	4,00
P2 - Latossolo Vermelho perférrico típico endoconcrecionário										
A	0-20	ft p gr	180	130	400	290	45	84	1,38	3,63
Bw1	40-60	ft mp gr	180	150	340	330	50	85	1,03	3,63
Bw2	60-80	ft mp gr	180	120	410	290	19	94	1,41	3,70
P3 - Latossolo Vermelho perférrico cambissólico										
A	0-20	ft p gr	350	60	270	320	38	88	0,84	2,98
AB	20-36	ft p gr	280	50	240	430	29	93	0,56	3,07
BA	36-48	ft p gr	220	40	220	520	32	94	0,42	2,98
Bw	48-102	ft mp gr	230	40	230	500	29	94	0,46	2,98
BC	102-150+	md bls	230	110	210	450	25	95	0,47	3,03
P4 - Latossolo Vermelho perférrico típico										
A	0-20	ft p gr	200	220	260	320	65	80	0,81	3,07
Bw	100-120	ft mp gr	180	210	280	330	15	95	0,85	3,33
BC	120-230	bl	250	220	260	270	24	91	0,96	3,27
2C	230-400+	bl	160	170	330	340	15	96	0,97	3,27
P5 - Latossolo Vermelho perférrico típico										
Bw	60-80	ft mp gr	200	220	210	370	64	83	0,57	3,70
P6 - Latossolo Vermelho distroférrico típico										
A	0-20	ft p gr	220	50	300	430	52	89	0,70	2,85
Bw	20-60	ft mp gr	160	50	280	510	58	89	0,55	2,85
P7 - Latossolo Vermelho perférrico típico										
Ap	0-12	ft p gr	320	60	200	420	220	48	0,48	3,40
Bw2	115-150	ft mp gr	260	80	240	420	50	88	0,57	3,53
P8 - Latossolo Vermelho perférrico típico										
Ap	0-21	ft p gr	186	287	321	206	0	100	1,91	n.a.
Bw2	98-139	ft mp gr	204	282	207	307	0	100	1,71	n.a.
P9 - Latossolo Vermelho ácrico petroplíntico										
Ac	10-19	ft p gr	482	70	235	213	0	100	1,10	n.a.
Bwc2	84-130	ft mp gr	308	146	135	411	247	40	0,33	n.a.

Estrutura: md: moderada; ft: forte; mp: muito pequena; p: pequena; gr: granular; bl: blocos; bls: blocos subangulares; AG: areia grossa; AF: areia fina; S: silte; A: argila; ADA: argila dispersa em água; GF: grau de floculação; S/A: relação silte/argila; Dp: densidade de partículas; e n.a.: não analisado.

indicam, também, a baixa potencialidade agrícola desses solos. Em alguns casos, pequenas áreas de domínio desses solos foram aproveitadas para reflorestamento com eucalipto, com baixa produtividade, a ponto de se descartar a condução da rebrota ou o replantio.

Os teores de Fe₂O₃ pelo ataque sulfúrico foram elevados e variaram entre 299 e 788 g kg⁻¹, no horizonte B (Quadro 3), confirmando tratarem-se de solos com caráter férrico (P6 e P9) ou perférrico (demais solos), de acordo com SiBCS em vigor (Embrapa, 1999, 2006, 2013). Esse resultado também encontra-se de acordo com aqueles obtidos por outros

autores (Oliveira et al.; 1983; Embrapa, 1988; Costa, 2003; Shinzato & Carvalho Filho, 2005; Carvalho Filho, 2008) e sugerem variação na composição química do itabirito (Brasil, 1986) e, em alguns casos, como nos perfis P3 e P6, provável contribuição de filito. A distinção desses solos daqueles de basalto e outras rochas máficas (Latosolos Roxos) pelo critério de cor e teores de Fe₂O₃ era e continua sendo complexa, permanecendo com a mesma classificação em níveis categóricos mais baixos.

Foram muito baixos os valores de Ki, Kr e da relação molecular Al₂O₃/Fe₂O₃ (Quadro 3). Resultados

Quadro 2. Atributos químicos dos Latossolos estudados na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais

Hor.	pH		Δ pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H+Al	S	t	T	V	m	P	CO
	H ₂ O	KCl													
————— cmol _c kg ⁻¹ ————— % ————— mg kg ⁻¹ dag kg ⁻¹															
P1 - Latossolo Vermelho perférrico típico endoconcrecionário															
A	5,00	4,49	-0,51	0,35	0,79	0,01	0,2	5,0	1,15	1,35	6,15	18,7	14,8	1,0	2,70
Bw1	4,92	4,74	-0,18	0,17	0,63	0,01	0,1	4,0	0,81	0,90	4,81	16,8	11,0	0,9	n.a
Bw2	5,09	5,80	0,71	0,14	0,62	0,01	0,0	1,8	0,77	0,77	2,57	30,0	0,0	0,9	1,10
P2 - Latossolo Vermelho perférrico típico endoconcrecionário															
A	4,65	4,50	-0,15	0,07	0,62	0,03	0,2	7,1	0,75	0,95	7,85	9,6	21,1	1,4	3,00
Bw1	4,80	5,60	0,80	0,13	0,60	0,01	0,0	3,1	0,74	0,74	3,84	19,3	0,0	1,0	2,30
Bw2	4,90	6,02	1,12	0,06	0,57	0,01	0,0	1,8	0,64	0,64	2,44	26,2	0,0	0,5	2,20
P3 - Latossolo Vermelho perférrico cambissólico															
A	5,40	4,76	-0,64	1,39	0,81	0,06	0,1	8,6	2,26	2,36	10,86	20,8	4,2	1,0	4,50
AB	4,98	4,65	-0,33	0,29	0,69	0,06	0,1	8,4	1,04	1,14	9,44	11,0	8,8	0,7	2,80
BA	5,03	5,79	0,76	0,15	0,59	0,04	0,0	6,9	0,78	0,78	7,68	10,2	0,0	0,4	2,50
Bw	5,40	6,27	0,87	0,23	0,59	0,02	0,0	5,4	0,84	0,84	6,24	13,5	0,0	0,6	2,40
BC	5,50	6,71	1,21	0,07	0,50	0,01	0,0	0,7	0,58	0,58	1,28	45,3	0,0	0,4	1,10
P4 - Latossolo Vermelho perférrico típico															
A	4,83	4,44	-0,39	0,15	0,62	0,05	0,1	4,3	0,82	0,92	5,12	16,0	10,9	1,2	2,30
Bw	5,30	6,01	0,71	0,11	0,59	0,01	0,0	1,7	0,71	0,71	2,41	29,5	0,0	0,6	1,80
BC	4,81	6,63	1,82	0,05	0,52	0,01	0,0	0,3	0,58	0,58	0,88	65,9	0,0	0,4	0,50
2C	5,08	6,47	1,39	0,12	0,57	0,01	0,0	0,0	0,70	0,70	0,70	100	0,0	0,3	1,00
P5 - Latossolo Vermelho perférrico típico															
Bw	5,22	5,13	-0,09	0,10	0,56	0,01	0,0	3,3	0,67	0,67	3,97	16,9	0,0	0,4	2,70
P6 - Latossolo Vermelho distroférrico típico															
A	4,85	4,37	-0,48	0,11	0,64	0,03	0,3	7,8	0,78	1,08	8,58	9,1	27,8	1,1	2,60
Bw	5,50	5,13	-0,37	0,09	0,62	0,01	0,0	4,5	0,72	0,72	5,22	1,8	0,0	0,7	2,00
P7 - Latossolo Vermelho perférrico típico															
Ap	5,5	4,6	-0,90	0,8	0,03	0,3	7,4	0,91	n.a	8,3	11,0	n.a	n.a	n.a	2,46
Bw2	6,2	6,4	0,20	0,1	0,01	0,0	1,2	0,12	n.a	1,4	14,0	n.a	n.a	n.a	0,55
P8 - Latossolo Vermelho perférrico típico															
Ap	5,9	5,5	-0,40	2,2	1,8	0,04	0,0	5,4	4,4	n.a	10,2	n.a	n.a	n.a	1,95
Bw2	5,4	6,6	1,20	0,2	0,01	0,0	1,0	0,2	n.a	1,2	n.a	n.a	n.a	n.a	0,08
P9 - Latossolo Vermelho ácrico petroplíntico															
Ac	4,5	4,1	-0,40	0,4	0,04	2,8	29,4	0,6	n.a	32,0	n.a	n.a	n.a	5,0	7,14
Bwc2	4,6	4,9	0,30	0,2	0,01	1,4	18,3	0,2	n.a	4,1	n.a	n.a	n.a	1,0	0,98

n.a.: não analisado.

semelhantes foram constatados por vários autores (Curi, 1983; Oliveira et al. 1983; Embrapa, 1988; Ker & Schaefer, 1995; Costa, 2003; Schinzato & Carvalho Filho, 2005; Carvalho Filho, 2008), encontrando-se condizentes com os baixos teores de Si e Al, e riqueza em Fe, da rocha de origem.

Os teores de TiO₂ foram baixos (Quadro 3) em concordância com os resultados de outros autores para Latossolos desenvolvidos de itabirito (Oliveira et al., 1983; Curi, 1983; Embrapa, 1988; Schinzato & Carvalho Filho, 2005; Carvalho Filho, 2008) e com a natureza química do material de origem, pobre em Ti (Curi, 1983; Brasil, 1986; Embrapa, 1988). A única exceção foi o solo P1, até momento o único caso da

literatura de solo desenvolvido de rocha itabirítica com teor de Ti mais elevado, obtido pelo ataque sulfúrico.

Os valores da relação Fe₂O₃/TiO₂ (não molecular) variaram de 6,10 a 110,94. Apenas o P8 apresentou valor dessa relação maior que 50, limite sugerido por Curi & Franzmeier (1987) para diferenciar Latossolos Vermelhos perférricos, derivados de itabirito (Fe₂O₃/TiO₂ > 50) daqueles de rochas máficas (Fe₂O₃/TiO₂ < 16). Ressalta-se que esses valores sugeridos por aqueles autores, basearam-se em poucas análises químicas à disposição à época.

Os valores da relação molecular TiO₂/Fe₂O₃ variaram de 0,02 a 0,33, com os solos P1, P3 e P6

Quadro 3. Teores de Fe extraídos com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (Fed), oxalato de amônio ácido (Feo), ácido sulfúrico (Fes) e substituição isomórfica de Fe³⁺ por Al³⁺ dos Latossolos estudados

Solo	Hor.	Feo	Fed	Feo	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Ki	Kr	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Hm	Subst. por Al ³⁺	
				Fed									Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	(Hm+Gt)	Hm	Gt
				g kg ⁻¹										mol mol ⁻¹				
P1	A	5,8	n.a	n.a	1,2	64,5	787,9	94,6	0,7	1,73	0,03	0,00	0,13	8,33	0,24	n.a.	n.a.	n.a.
	Bw1	3,7	363,6	0,01	0,7	62,5	762,2	125,0	1,3	1,95	0,02	0,00	0,13	6,10	0,33	n.a.	n.a.	n.a.
	Bw2	2,8	266,4	0,01	1,1	63,5	733,6	106,3	1,3	1,73	0,03	0,00	0,14	6,90	0,29	0,85	0,72	2,07
P2	A	3,5	243,9	0,01	6,0	79,0	712,1	18,3	1,1	2,91	0,13	0,02	0,17	38,93	0,05	n.a.	n.a.	n.a.
	Bw1	4,4	299,8	0,01	5,6	76,5	732,2	17,3	0,5	2,35	0,12	0,02	0,16	42,35	0,05	n.a.	n.a.	n.a.
	Bw2	2,4	265,9	0,01	5,3	73,5	727,9	24,5	0,6	2,69	0,12	0,02	0,16	29,73	0,07	0,64	0,85	0,91
P3	A	8,3	160,1	0,05	1,7	217,0	389,0	29,8	0,8	0,41	0,01	0,01	0,88	13,04	0,15	n.a.	n.a.	n.a.
	AB	7,7	194,0	0,04	1,2	214,0	413,3	33,0	0,6	0,33	0,01	0,00	0,81	12,52	0,16	n.a.	n.a.	n.a.
	BA	6,7	182,9	0,04	0,9	235,0	409,0	36,7	0,8	0,32	0,01	0,00	0,98	11,14	0,18	n.a.	n.a.	n.a.
	Bw	4,8	186,5	0,03	0,9	248,0	399,0	34,9	0,9	0,31	0,01	0,00	0,90	11,45	0,17	0,45	0,10	2,76
P4	BC	3,7	321,3	0,01	0,4	283,0	430,4	33,0	0,6	0,24	0,00	0,00	1,03	13,04	0,15	n.a.	n.a.	n.a.
	A	5,0	216,1	0,02	2,7	117,0	423,3	20,0	1,9	2,22	0,04	0,01	0,43	21,20	0,09	n.a.	n.a.	n.a.
	Bw	5,9	248,3	0,02	1,7	123,0	384,7	19,1	1,6	1,40	0,02	0,01	0,50	20,11	0,10	0,76	0,72	2,40
	BC	6,1	336,9	0,02	1,3	152,0	420,4	18,1	2,2	1,92	0,02	0,01	0,57	23,20	0,09	n.a.	n.a.	n.a.
P5	2C	2,9	250,0	0,01	4,5	95,5	417,6	13,8	1,4	2,91	0,08	0,02	0,36	30,31	0,07	n.a.	n.a.	n.a.
	Bw	6,9	287,7	0,02	0,1	145,0	677,6	n.d	n.d	0,15	0,00	0,00	0,34	—	—	0,97	1,13	3,27
P6	A	3,6	165,4	0,02	1,4	251,0	323,2	39,5	0,7	0,43	0,01	0,01	1,22	8,17	0,24	n.a.	n.a.	n.a.
	Bw	4,2	189,0	0,02	1,4	260,0	334,6	38,7	0,7	0,41	0,01	0,01	1,22	8,65	0,23	0,79	0,85	3,86
P7	Ap	n.a.	n.a.	n.a.	9,0	136,0	538,0	21,5	1,8	0,80	0,11	0,03	0,40	25,02	0,08	n.a.	n.a.	n.a.
	Bw2	n.a.	n.a.	n.a.	10,0	177,0	597,0	23,1	1,6	0,80	0,10	0,03	0,47	25,84	0,08	n.a.	n.a.	n.a.
P8	Ap	n.a.	n.a.	n.a.	18,0	47,0	355,0	3,2	1,4	22,60	0,65	0,11	0,21	110,94	0,02	n.a.	n.a.	n.a.
	Bw2	n.a.	n.a.	n.a.	13,0	49,0	389,0	4,7	1,1	17,90	0,45	0,07	0,20	82,77	0,02	n.a.	n.a.	n.a.
P9	Ac	n.a.	n.a.	n.a.	25,0	214,0	306,0	7,5	1,9	0,32	0,20	0,10	1,10	40,80	0,05	n.a.	n.a.	n.a.
	Bwc2	n.a.	n.a.	n.a.	24,0	280,0	299,0	13,3	1,8	0,35	0,15	0,09	1,47	22,48	0,09	n.a.	n.a.	n.a.

Ki = SiO₂/Al₂O₃; Kr = SiO₂/(Al₂O₃+Fe₂O₃); Hm: hematita; Gt: Goethita; n.d.: não detectado; e n.a.: não analisado.

apresentando valores dessa relação maiores que 0,10, valor indicado tentativamente por Carvalho Filho (2008) para distinguir Latossolos Vermelhos férricos e perférricos de itabirito, daqueles de rochas máficas.

Em todos os solos predominaram as formas cristalinas de oxi-hidróxidos de Fe, a inferir-se pelos baixos valores da relação Feo/Fed. A relação Hm/(Hm + Gt) (Quadro 3) indica predomínio da hematita (Hm), em relação à goethita, resultado condizente com a cor avermelhada dos solos. O solo P3, mesmo com essa relação em torno de 0,45 (Quadro 3), apresentou coloração avermelhada, refletindo o poder pigmentante da hematita (Resende, 1976).

As curvas cumulativas de Fe obtidas pela extração com ditionito (Fed) indicam a ocorrência de duas velocidades de extração (Figura 1). A primeira, evidenciada nas duas primeiras extrações, correspondente ao segmento mais inclinado da curva, refere-se a constituintes ferruginosos mais facilmente extraíveis. Já, a segunda, remete-se aos componentes de dissolução mais lenta, sugerindo tratar-se de formas mais resistentes à reação com o ditionito. A esse respeito, Schwertmann (1988) destaca que os oxi-hidróxidos de Fe dissolvem-se anisotropicamente, ou seja, eles não mantêm a estrutura

original durante a dissolução pelos reagentes químicos normalmente utilizados na extração de Fe.

Os valores de substituição isomórfica (horizonte B) de Fe por Al na goethita variaram de 0,09 a 0,38 mol mol⁻¹ e para hematita de 0,07 a 0,11 mol mol⁻¹ (Quadro 3), confirmando ocorrer menor substituição do Fe por Al nas hematitas em relação à goethita. A estrutura da hematita é capaz de acomodar menos Al³⁺ substituído do que a da goethita, como já apontado por outros autores (Schwertmann et al., 1979; Schwertmann & Kämpf, 1985; Schwertmann, 1988; Fontes & Weed, 1991).

Os teores de elementos-traço (Ni, Cu, Zn, e Cr) obtidos na TFSA (Quadro 4) encontram-se dentro da faixa daqueles citados na literatura para solos de diferentes materiais (Ferreira, 1991; Ker, 1995; Oliveira et al., 2000; Carvalho Filho, 2008). As variações entre os teores de elementos-traço dos solos estudados provavelmente estão relacionadas à diferenciação na composição de rochas itabiríticas. De acordo com Brasil (1986), essas variações podem ocorrer até mesmo no que se refere aos teores de magnetita, às vezes baixos, a depender das condições de pH e Eh do ambiente de sedimentação de Fe e Mn. Merece destaque os teores mais elevados de Mn, acima

de 1.000 mg kg⁻¹, nos solos P1, P2, P4, P8 e P9, indicando que em alguns solos ferríferos do QF, os teores desse elemento podem ser mais elevados (Brasil, 1986; Ker, 1995; Ker & Schaeffer, 1995; Carvalho Filho, 2008)

Confrontando os resultados dos elementos-traço deste trabalho com aqueles apresentados na literatura brasileira (Ker et al., 1993; Ker, 1995; Ferreira, 1991; Oliveira et al., 2000; Carvalho Filho, 2008) (dados não

incluídos), observou-se a tendência de maior riqueza de elementos-traço em solos desenvolvidos de rochas máficas do que aqueles de itabirito, ainda que com sobreposições em alguns casos. Isso indica a dificuldade de individualização desses solos, mesmo buscando critérios de separação em níveis taxonômicos mais baixos.

Mineralogia da fração argila e magnetização do solo

A composição mineralógica da fração argila dos solos revelou presença de caulinita, gibbsita, goethita, hematita, ilmenita, mica, anatásio, rutilo, maghemita e quartzo (Figuras 2 e 3). A presença de gibbsita, principalmente nos solos P3 e P6, sugere provável contribuição do filito para a formação desses dois solos.

O quartzo, presença pouco comum na fração argila de Latossolos, foi observado em todos os solos. Fernandes (2000), estudando vários Latossolos do Brasil, também mencionou a presença desse mineral na fração argila de alguns Latossolos. De acordo com Brasil (1986), o processo de formação do minério (itabirito) é governado, entre outros fatores, pela mudança de solubilidade do quartzo sob condições de temperatura elevada. A forma cristalina do quartzo é resultado do grande metamorfismo verificado no QF.

No concentrado de óxidos de Fe, identificou-se o rutilo nos solos P3, P4 e P5, ainda que não verificado

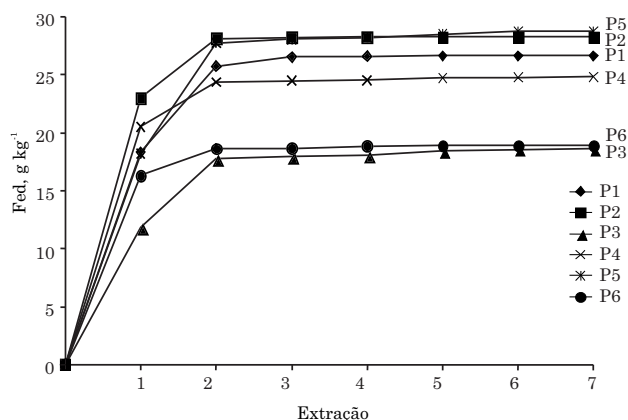


Figura 1. Teores acumulados de ferro, referentes a sete extrações sucessivas com DCB, na fração argila dos horizontes Bw dos solos.

Quadro 4. Teores de elementos-traço obtidos pelo ataque ácido total da TFSA dos solos selecionados

Solo	Hor.	Ni	Cu	Zn	Mn	Cd	Cr	Σ ⁽¹⁾
mg kg ⁻¹								
P1	A	99	272	151	2700	n.d.	684	3906
	Bw1	113	272	140	2221	n.d.	593	3339
	Bw2	250	291	161	2391	n.d.	716	3809
P2	A	47	122	58	2664	n.d.	127	3018
	Bw1	16	95	50	2028	n.d.	106	2295
	Bw2	27	112	50	3066	n.d.	88	3343
P3	A	250	18	29	305	n.d.	159	761
	AB	24	8	25	196	n.d.	171	424
	BA	4	12	29	336	n.d.	196	577
	Bw	n.d.	13	28	276	n.d.	191	508
	BC	2	12	32	231	n.d.	154	431
P4	A	62	15	36	2096	n.d.	117	2326
	Bw	23	11	31	1184	n.d.	115	1364
	BC	46	24	37	1871	n.d.	150	2128
	2C	47	38	60	2937	n.d.	140	3222
P5	Bw	3	7	21	126	n.d.	79	236
P6	A	46	18	43	433	n.d.	277	817
	Bw	n.d.	19	46	406	n.d.	252	723
P7	Bw2	69	174	102	791	n.a.	80	1216
P8	Bw2	56	178	122	1100	n.a.	30	1486
P9	Bwc2	327	242	140	2917	n.a.	350	3976

⁽¹⁾Σ = Somatório dos teores de Ni + Cu + Zn + Mn + Cd + Cr; n.d.: não detectado; e n.a.: não analisado.

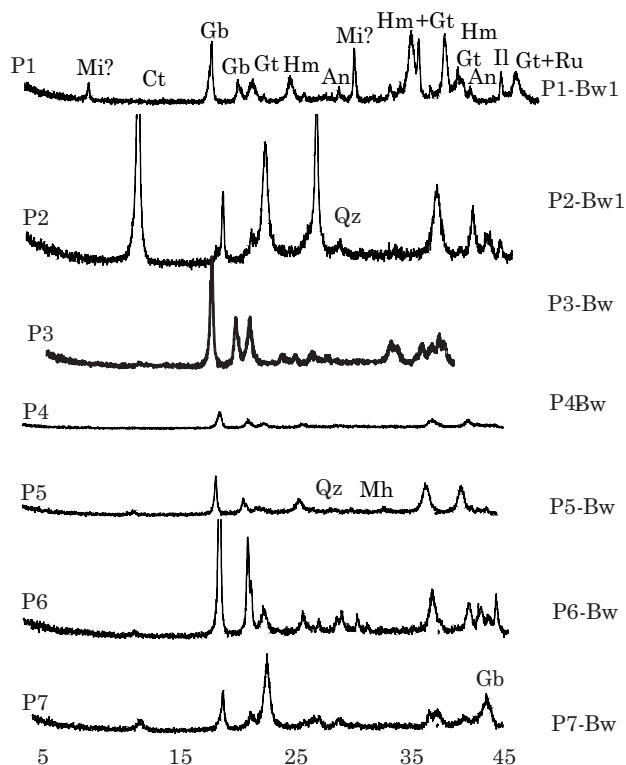


Figura 2. Difratomogramas de raios-X da fração argila natural de horizontes dos solos estudados (lâminas orientadas) (Ct: caulinita; G: gibbsita; Gt: goethita; Hm: hematita; Il: ilmenita; Mi: mica; An: anatásio; Ru: rutilo; Mh: maghemita; e Qz: quartzo).

na fração argila desferrificada (Quadro 5). O anatásio, mineral de Ti associado ao intemperismo da ilmenita (Allen & Hajek, 1989), foi observado em todos os solos (Figuras 2 e 3), com ilmenita, nos P1 e P2, e mica, somente no P1. A hematita, goethita e maghemita também foram notadas em todos os solos (Quadro 5). A maghemita é um dos minerais responsáveis pela magnetização, estando condizente com o comportamento magnético desses solos.

Nos solos estudados, especula-se que parte da hematita pode ser litogenética, isto é, herdada do material de origem, sobretudo nas frações silte e areia, conforme destacado na III RCC (Embrapa, 1988) e questionado, naquela ocasião, se não caberia a adjetivação “cambissólico” para Latossolos com essa característica.

Os valores de magnetização de saturação dos solos estudados apresentaram grande variação nas frações estudadas (Quadro 6). Os maiores valores de magnetização foram constatados na fração areia, seguida da silte. Essa constatação indica que a magnetização desses solos está sendo mais influenciada pela presença de magnetita derivada da rocha de origem (Fabris et al., 1997a; Fontes et al., 2000). A magnetização da fração argila, por sua vez, deve-se à presença de maghemita ou titano-maghemita (Resende et al., 1988b), identificada

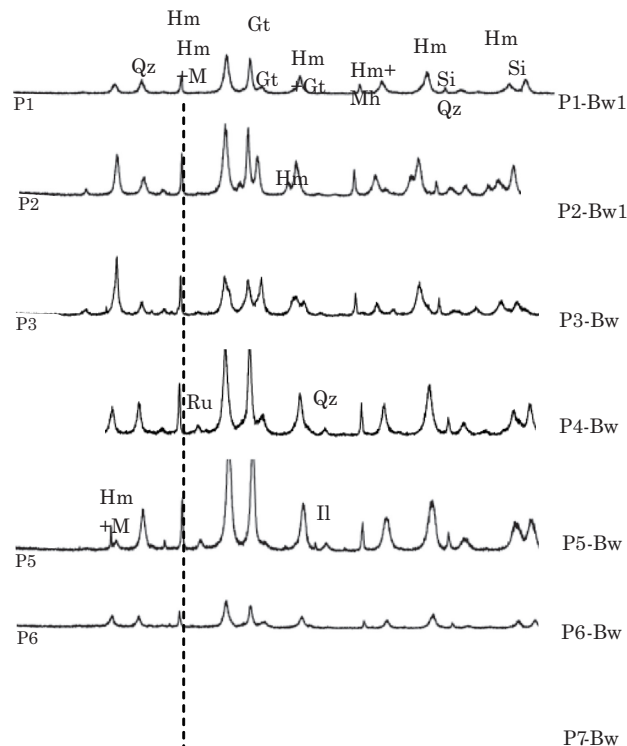


Figura 3. Difratomogramas de raios-X da fração argila concentrada em Fe, com padrão de Si, de horizontes B dos solos (lâminas não orientadas) (Gt: goethita; Hm: hematita; Il: ilmenita; An: anatásio; Mh: maghemita; e Qz: quartzo).

pela difratometria de raios-X (Figuras 2 e 3). Essa variação na magnetização pode ser explicada, tentativamente, pela variação do teor de magnetita no itabirito. Brasil (1986) relatou a ocorrência de itabiritos com baixa percentagem de magnetita no QF. Neste caso, destaca que o sedimento original tenha hematita e hidróxido de Fe e que o Eh, supostamente baixo para o ambiente diagenético, tenha permitido a redução de apenas parte do ferro férrico para formação de magnetita.

Quanto maiores os teores de $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ no solo (Quadro 4), maior é a magnetização na TFSA (Quadro 6). Esse comportamento pode decorrer da presença dos minerais: magnetita, titano-magnetita, maghemita e titano-maghemita, que são os principais constituintes responsáveis pelas manifestações magnéticas nos solos (Resende et al., 1986).

CONCLUSÕES

1. Os solos estudados são ácidos e de baixa fertilidade natural; os teores de Al^{3+} são baixos e refletem a natureza do material de origem.

2. Os solos são eletropositivos em subsuperfície, à exceção do P6, e com estrutura muito pequena granular fortemente desenvolvida.

Quadro 5. Composição mineralógica das frações areia, silte e argila desferriçada, saturada com K de horizontes dos solos por difratometria de raios-X

Solo	Hor.	Areia	Silte	Argila
P1	Bw1	Qz, Gb, Gt, Il, An, Mh, Hm+Gt, Hm+Mh, Il+Qz	Gb, Gt, Hm, An, Qz, Mh, Il, Hm+Gt	Mi, Gb, Qz
P2	Bw1	Gt, Qz, Mh, Hm+Gt, Hm+Mh, An, Qz	Ct, Gt, Hm, Qz, Mh	Ct, Gb, Qz
P3		n.a.	Gb, Qz, Gt, Hm, An, Hm+Gt	Gb
P4	Bw	Gb, Gt, Hm, Qz, Hm+Gt, Qz+Hm	Mi, Gb, Gt, Hm, Qz, Il, Hm+Gt	Mi, Ct, Gb Qz
P5		n.a.	n.a.	Ct, Gb
P6	Bw	Gb, Qz, Gt, Hm, An, Hm+Gt, Hm+Mh, Il	Gb, Gt, Hm, An, Qz, Hm+Gt	Ct, Gb

Quadro 6. Características referentes à magnetização e cor dos solos estudados

Solo	Horizonte	Magnetização				Cor úmida - TFSA (sistema Munsell)
		TFSA	Argila	Silte	Areia	
————— $J T^{-1} kg^{-1}$ —————						
P1	A	9,55	0,26	2,17	10,28	10R 3/2
	Bw1	8,64	0,22	6,12	9,89	10R 3/4
	Bw2	8,47	0,08	n.a.	10,16	2,5YR 3/6
P2	A	5,08	0,25	1,50	5,42	2,5YR 4/4
	Bw1	5,94	0,87	5,80	11,29	2,5YR 4/6
	Bw2	5,57	0,12	n.a.	7,81	2,5RYR 4/6
P3	A	2,24	0,27	n.a.	5,82	10R 3/3
	AB	3,25	0,36	n.a.	8,89	2,5YR 3/4
	BA	2,30	0,32	n.a.	10,22	2,5YR 4/4
	Bw	1,96	0,40	0,04	6,52	10R 3/3
	BC	0,00	0,00	n.a.	9,57	2,5YR 3/6
P4	A	1,37	0,85	0,10	8,67	10R 3/4
	Bw	1,56	1,57	0,78	7,81	10R 3/4
	BC	0,60	0,40	n.a.	0,00	2,5YR 3/6
	2C	0,23	0,00	0,53	0,08	5YR 4/6
P5	Bw	4,00	2,30	n.a.	2,82	10R 3/3
P6	A	0,32	0,00	n.a.	1,17	10R 3/6
	Bw	0,01	0,00	0,79	0,85	10R 3/6
P8	Ap	4,31	n.a.	n.a.	n.a.	10R 3/4
	Bw2	3,83	n.a.	n.a.	n.a.	10R 3/6
P9	Ap	3,30	n.a.	n.a.	n.a.	2,5YR 3/4
	Bwc2	1,28	n.a.	n.a.	n.a.	2,5YR 3/6

n.a.: não analisado.

3. Os teores de argila, provavelmente, foram subestimados em razão dos elevados valores de densidade das partículas. Por esta mesma razão, os valores de silte podem ter sido superestimados.

4. Os valores das relações moleculares K_i , K_r e Al_2O_3/Fe_2O_3 foram muito baixos e condizentes com a natureza do material de origem, pobre em Si e Al e rico em Fe.

5. A hematita foi o óxido de Fe prevalecente na fração argila dos solos estudados. Destacou-se a presença de maghemita e goethita. Foram muito baixos os teores de caulinita e de gibbsita.

6. Os valores da magnetização espontânea dos solos estudados foram, em sua maioria, elevados e

decorreram da existência de magnetita (areia e silte) e maghemita (argila).

7. A variação dos teores de Fe_2O_3 , TiO_2 e elementos-traço (Cr, Ni, Cu, Zn e Mn) foram resultante da variabilidade mineralógica das rochas itabiríticas; para alguns solos estudados não se descartou a possível contribuição de filito em suas propriedades mineralógicas, químicas e físicas.

AGRADECIMENTOS

Aos doutores Amaury Carvalho Filho (Embrapa - Centro Nacional de Pesquisa de Solos - RJ) e Edgar Schinzato (Departamento Nacional de Produção Mineral- RJ), pela disponibilização de amostras dos solos P7, P8 e P9.

LITERATURA CITADA

- ALLEN, B.L. & HAJEK, B.F. Mineral occurrence in soil environments. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. Minerals in soil environments. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.199-278.
- ANTONELLO, L.L.; MÖLLER, M.R.F.; MONIZ, A.C. & DURIEZ, M.A.M. Mineralogia de argilas desferrificadas de "horizonte B" em Latossolos do Sudeste e Sul do Brasil. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, Embrapa-SNLCS/SBCS, 1988. p.185-210.
- BARBOSA, G.V & RODRIGUES, D.M.S. O Quadrilátero Ferrífero e seus problemas geomorfológicos. Bol. Miner. Geol., 10/11:3-35, 1965.
- BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais Depósitos Minerais do Brasil. Volume II, Ferro e Metais da Indústria do aço. In: SCHBENHAUS, C. & COELHO, C.E.S., orgs. Brasília, 1986. 501 p. (Convênio DNPM/CVRD/CPRM)
- CAMARGO, M.N. Proposição preliminar de conceituação de Latossolos Ferríferos. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Conceituação sumária de algumas classes de solos recém-reconhecidas nos levantamentos e estudos de correlação do SNLCS. Rio de Janeiro, 1982. p.29-31. (Circular Técnica, 1)
- CARVALHO FILHO, A. Solos e ambientes do Quadrilátero Ferrífero (MG) e aptidão silvicultural dos Tabuleiros Costeiros. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2008. 245p. (Tese de Doutorado)
- COEY, J.M.D.; CUGAT, O.; MCCAULEY, J. & FABRIS, J.D. A portable soil magnetometer. R. Física Aplic. Instr., 7:25-30, 1992.
- CORNELL, R.M. & SCHWERTMANN, U. The iron oxides. Structure, properties, reactions, occurrence and uses. Weinheim, VHC, 1996. 573p.
- COSTA, S.A.D. Caracterização química, física, mineralógica e classificação de solos ricos em ferro do Quadrilátero Ferrífero. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2003. 71p. (Dissertação de Mestrado)
- CURI, N. Lithosequence and toposequence of Oxisols from Goiás and Minas Gerais States, Brazil. West Lafayette, Purdue University, 1983. 158p. (Tese de Doutorado)
- 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.
- DONAGEMMA, G.K.; RUIZ, H.A.; FONTES, M.P.F.; KER, J.C. & SCHAEFER, C.E.G.R. Dispersão de Latossolos em resposta à utilização de pré-tratamentos na análise textural. R. Bras. Ci. Solo, 27:765-772, 2003.
- DORR II, J.N. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. U.S.G.S. Washington, DC: U. S. Geological Survey, 1969. 110 p. (Geological survey professional paper, 641-A)
- 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, Embrapa, 1988. 425p.
- 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. (Documentos, 1)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1999. 412p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2 ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. rev. ampl.. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2013. 353 p.
- FABRIS, J.D.; JESUS FILHO, M.F.; MUSSEL, W.N.; COEY, J.M.D. & GOULART, A.T. Iron-rich spinels from Brazilian soils. Hyperfine Inter., 110:23-32, 1997a.
- FABRIS, J.D.; MUSSEL, W.N.; COEY, J.M.D.; JESUS FILHO, M.F. & GOULART, A.T. Mg-rich iron oxide spinels from tuffite. Hyperfine Inter., 110:33-40, 1997b.
- FERNANDES, R.B.A. Atributos mineralógicos, cor, adsorção e dessorção de fosfatos em Latossolos do Sudeste Brasileiro. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2000. 265p. (Tese de Doutorado)
- FERREIRA, S.A.D. Relação entre o magnetismo e teores de elementos-traços em solos de duas regiões de Minas Gerais. Viçosa, MG, UFV, 1991. 94p. (Dissertação de Mestrado)
- FERREIRA, S.A.D.; SANTANA, D.P.; FABRIS, J.D.; CURI, N.; NUNES FILHO, E. & COEY, J.M.D. Relações entre magnetização, elementos traços e litologia de duas sequências de solos do Estado de Minas Gerais. R. Bras. Ci. Solo, 18:167-174, 1994.
- FONTES, M.P.F. & WEED, S.B. Iron oxides in selected Brazilian Oxisols: I. Mineralogy. Soil Sci. Soc. Am. J., 55:1143-1149, 1991.
- FONTES, M.P.F. & CARVALHO Jr., I.A. Color attributes and mineralogical characteristics, evaluated by radiometry, of highly weathered tropical soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 69: 1162-1172, 2005.
- FONTES, M.P.F.; OLIVEIRA, T.S.; COSTA, L.M. & CAMPOS, A.A.G. Magnetic separation and evaluation of magnetization of Brazilian soils from different parent materials. Geoderma, 96: 81-99, 2000.

- KÄMPF, N. & CURTI, N. Óxidos de ferro: indicadores de ambientes pedogênicos e geoquímicos. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFFER, C.E.R., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, SBCS, 2000. v.1, p.107-138.
- KÄMPF, N.; KLANT, E.; SCHNEIDER, P. Óxidos de ferro em Latossolos do Brasil Sudeste e Sul. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, Embrapa-SNLCS/SBCS, 1988. p. 153-183.
- KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. The 5-M-NaOH concentration treatment for iron oxides in soils. *Clays Clay Miner.*, 30:401-408, 1982.
- KER, J.C. Mineralogia, sorção e desorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 181p. (Tese de Doutorado)
- KER, J.C.; MOTTA, P.E.F.; RESENDE, M. & CARVALHO FILHO, A.C. Elementos traços em Latossolos Roxos desenvolvidos de diferentes materiais de origem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 24, Goiânia, 1993. Resumos... Goiânia, SBCS, 1993. p.319.
- KER, J.C. & SCHAEFFER, C.E.G.R. Roteiro da excursão pedológica Viçosa - Sete Lagoas. Viçosa, SBCS/UFV - DPS/Embrapa CNPS, 1995. 47 p.
- KLEIN, C. & HURLBUT JR., C.S. Manual of mineralogy. 21.ed. New York, John Wiley & Sons, 1993. 681p.
- LADEIRA, E.A. & VIVEIROS, J.F.M. Hipótese sobre a estruturação do Quadrilátero Ferrífero com base nos dados disponíveis. Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo de Minas Gerais, 1984. s.p.
- LIMA, P.C. Micromorfologia de "horizontes B" de Latossolos do sudeste e sul do Brasil. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, Embrapa-SNLCS/SBCS, 1988. p.391-411.
- McKEAGUE, J.A. Manual on soil sampling and methods of analysis. 2.ed. Ottawa, Canadian Society Soil Science, 1978. 212p.
- 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.
- MOURA FILHO, G.; RESENDE, M. & CRUZ, C.D. ALOCA - Programa de estimativa de minerais do solo. Versão 1.0. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25. Viçosa, MG, 1995. Anais... Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. (Software)
- NALOVIC, L. & SEGALLEN, P. Relations entre le fer et elements traces de transition dans un certain nombre de minerals ferriferes. *Cahiers ORSTOM*, 9: 181-191, 1973.
- NORRISH, K & TAYLOR, R.M. The isomorphous replacement of iron by aluminum in the soil goethites. *J. Soil Sci.*, 12:294-306, 1961.
- OLIVEIRA, V.; COSTA, A.M.R.; AZEVEDO, W. P.; CAMARGO, M.N. & LARACH, J.O.I. Pedologia; Levantamento de Recursos Naturais. In: PROJETO RADAMBRASIL: Levantamento de Recursos Naturais. v. 32. Folhas SF.23/24 Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro, 1983. p.385-552.
- OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.T.K. & CAMARGO, M.N. Classes gerais de solos do Brasil: Guia auxiliar para seu reconhecimento. Jaboticabal, FUNEP, 1992. 201p.
- OLIVEIRA, T.S.; FONTES, M.P.F.; COSTA, L.M. & HORN, A.H. Relationship between magnetization and trace elements content of Brazilian soils from different parent materials. *Soil Sci.*, 165:825-834, 2000.
- RESENDE, M.; ALLAN, J. & COEY, M.D. The magnetic soils of Brazil. *Earth Planet Sci. Lett.*, 78:322-326, 1986.
- RESENDE, M.; BAHIA FILHO, A.F.C. & BRAGA, J.M. Mineralogia de argila de Latossolos estimada por alocação a partir do teor total de óxidos do ataque sulfúrico. *R. Bras. Ci. Solo*, 11:17-23, 1987.
- RESENDE, M.; SANTANA, D.P. & CURTI, N. Pedologia e fertilidade do solo: interação e aplicações. Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1988a. 81p.
- RESENDE, M.; SANTANA, D.P. & REZENDE, S.B. Susceptibilidade magnética em Latossolos do Sudeste e Sul do Brasil. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, Embrapa-SNLCS/SBCS, 1988b. p.233-258.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C. & ANJOS, L.H.C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.
- SCHINZATO, E. & CARVALHO FILHO, A. Pedologia. In: Projeto Apa Sul: estudos do meio físico. Belo Horizonte: CPRM/EMBRAPA/SEMAD, 2005. v.5, partes A-B. (Série Programa de Informações Básicas para a Gestão Territorial - GATE)
- SCHULZE, D.G. The influence of aluminum on iron oxides: VIII - Unit-cell dimensions of Al-substituted goethites and estimation of Al from them. *Clays Clay Miner.*, 32:36-44, 1984.
- SCHWERTMANN, U.; FITZPATRICK, R.W.; TAYLOR, R.M. & LEWIS, D.G. The influence of aluminum on iron. Part II. Preparation and properties of Al-substituted hematites. *Clays Clay Miner.*, 27:105-112, 1979.
- SCHWERTMANN, U. & KÄMPF, N. Properties of goethite and hematite in kaolinitic soils of southern and central Brazil. *Soil Sci.*, 139:344-350, 1985.
- SCHWERTMANN, U. Some properties of soil and synthetic iron oxides. In: STUCKI, J.W.; GOODMAN, B.A. & SCHWERTMANN, U., eds. Iron in soils and clay minerals. Dordrecht, D. Reidel, 1988. p.203-250.
- SHINZATO, E. & CARVALHO FILHO, A. Pedologia. In: PROJETO APA SUL, RMBH: Estudos do meio físico. Belo Horizonte: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2005. v.5, Partes A-B, 53p. (Série Programa Informações Básicas para a Gestão Territorial - GATE, 5)

- SILVA, S.L.; MONTEIRO, E.A.; BALTAZAR, O.F. & ZUCCHETTI, M. Geologia. In: PROJETO APA SUL RBMH: Estudos do meio físico. Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005. 64p. (Série Programa de Informações Básicas para a Gestão Territorial - GATE, 1)
- YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:1467-1476, 1988.