

TOPOSSEQUÊNCIAS DE LATOSSOLOS ORIGINADOS DE ROCHAS BASÁLTICAS NO PARANÁ. II - RELAÇÃO ENTRE MINERALOGIA DA FRAÇÃO ARGILA E PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SOLOS⁽¹⁾

André Ademir Ghidin⁽²⁾, Vander de Freitas Melo⁽³⁾, Valmiqui Costa Lima⁽³⁾ & Jane Maria Jonasson Costa Lima⁽³⁾

RESUMO

A estrutura do solo (tipo, tamanho e grau de desenvolvimento) define a porosidade total do solo e a distribuição relativa entre macro e microporos, sendo considerada uma das mais importantes propriedades do solo do ponto de vista agrícola. O objetivo deste estudo foi avaliar a influência da mineralogia da fração argila, incluindo as características cristalográficas dos minerais, sobre as propriedades físicas de duas classes de Latossolos provenientes de rochas basálticas, em diferentes posições no relevo (topossequência) no Estado do Paraná. Para tal, procedeu-se à descrição morfológica dos perfis, e as amostras dos horizontes Bw1 e Bw2 foram submetidas a análises físicas e micromorfológicas. A hematita (Hm), goethita (Gt) e Gibbsita (Gb) foram responsáveis pelo aumento na macroporosidade, porosidade total (PT) e pela redução na densidade do solo (Ds) para o Latossolo Bruno ácrico (LBw). Verificou-se influência oposta para a caulinita (Ct). As correlações entre os atributos físicos e os teores de Ct, Hm, Gt e Gb na fração argila não foram significativas para o Latossolo Vermelho distroférico (LVdf). Aparentemente, os óxidos de Fe e Al de baixa cristalinidade foram mais importantes no incremento da macroporosidade e PT dos horizontes do LVdf. Com relação às características cristalográficas dos minerais da fração argila, para o LVdf, apenas os coeficientes de correlação entre o tamanho médio do cristal da Gb [DMC(110)] e a PT (correlação negativa) e a Ds (correlação positiva) foram significativos. Verificou-se comportamento semelhante para o diâmetro médio do cristal da Hm no domínio (104) para o LBw.

Termos de indexação: estrutura do solo, porosidade do solo, micromorfologia, caulinita, óxidos de Fe e Al.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor. Recebido para publicação em julho de 2004 e aprovado em março de 2006.

⁽²⁾ Professor do Curso Gestão Ambiental, Faculdade Palas Atena – FPA. CEP 85560-000 Chopinzinho (PR). E-mail: ghidin@chnet.com.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal do Paraná – UFPR. Rua dos Funcionários 1540, Departamento de Solos, Juvevê, CEP 80035-050 Curitiba (PR). E-mails: vanderfm@ufpr.br; valmiqui@ufpr.br

SUMMARY: OXISOL TOPOSEQUENCES DEVELOPED FROM BASALTIC ROCKS IN PARANÁ STATE, BRAZIL. II - RELATIONSHIP BETWEEN CLAY FRACTION MINERALOGY AND PHYSICAL SOIL PROPERTIES

Soil structure (type, size and development) defines the total soil porosity and macro and microporosity distribution, and is considered to be one of the most important agricultural soil properties. The aim of this work was to study the effect of the clay fraction mineralogy, including the crystallographic mineral characteristics, in the soil physical properties of two Oxisols developed from the basaltic rocks, in different landscape positions (toposequence) in Paraná State, Brazil. With this objective, the soil profile was morphologically described and the Bw1 and Bw2 horizons samples were submitted to physical and micromorphological characterizations. The hematite (Hm), goethite (Gt) and gibbsite (Gb) were responsible for the increased macroporosity and total porosity (TP) and reduced bulk density (BD) in the Red-Yellow Latosol (LBw). The effect of kaolinite (Ka) was opposite. The correlation between physical properties and Ka, Hm, Gt, Gb concentration in the clay fraction were not significant for the Dusky Red Latosol (LVdf). The amorphous Fe and Al oxides apparently were more important for the increased macroporosity and improved TP of the LVdf horizons. The only significant correlation in crystallographic characteristics of the clay fraction minerals was observed between Gb crystal size [MCD(110)] and TP (negative correlation) and BD (positive correlation) for the LVdf. A similar behavior was observed for mean crystal diameter of Hm (104 direction) for the LBw.

Index terms: soil structure, soil porosity, micromorphology, kaolinite, Fe and Al oxides.

INTRODUÇÃO

A caulinita (Ct), gibbsita (Gb), goethita (Gt) e hematita (Hm) são os principais minerais da fração argila dos Latossolos brasileiros, apresentando diferentes concentrações e características físico-químicas (Curi & Franzmeier, 1984; Singh & Gilkes, 1992a,b; Melo et al., 2001a,b). A participação quantitativa desses minerais nas características físicas dos solos foi discutida por alguns autores (Resende, 1985; Schwertmann & Kampf, 1985; Resende et al., 1992; Pinheiro-Dick & Schwertmann, 1995; Ferreira et al., 1999a,b; Giarola et al., 2002; Pedrotti et al., 2003). Contudo, não foi explorada, nesses trabalhos, a influência das características cristalográficas dos minerais da fração argila sobre a formação de agregados e definição da porosidade desta classe de solo.

Avaliando apenas o efeito da espécie mineral da fração argila sobre as propriedades físicas dos solos, Deshpande et al. (1968) reportaram a maior participação dos óxidos de Al na estabilidade dos agregados em relação aos óxidos de Fe. Já o trabalho de Pinheiro-Dick & Schwertmann (1995) não conseguiu distinguir o efeito destas duas classes de minerais, em que a presença dos óxidos de Fe e Al resultou indistintamente na alta estabilidade dos agregados dos Oxisolos. Segundo os autores, tanto as formas de Fe pobremente cristalinas quanto a Gt e Hm participaram efetivamente dos processos de agregação destes solos.

Schwertmann & Kämpf (1985), estudando as propriedades da Gt e Hm em solos cauliniticos da

Região Central e Sul do Brasil, mostraram que esses minerais se agregam mutuamente, em vez de recobrirem as partículas da Ct, não concordando com a opinião amplamente difundida de que o revestimento da Ct pelos óxidos de Fe é a principal causa para a forte agregação dos solos de clima tropical e subtropical.

Resende (1985), Resende et al. (1992) e Resende et al. (1997) atribuíram, principalmente, à Hm, Gt e Gb o efeito de desorganizador de minerais filossilicatos na fração argila, destacando-se a Ct. Assim, o maior teor desses constituintes corresponderá a um maior grau de desorganização em nível microscópico e, conseqüentemente, a uma estrutura mais próxima do tipo granular. Por outro lado, esses autores discutiram também o efeito da Ct na estrutura dos Latossolos, atribuindo ao arranjo face a face do mineral a estrutura predominantemente em blocos.

Neste sentido, Ferreira et al. (1999a) observaram em Latossolos do Sudeste do Brasil que a Ct e Gb são os constituintes mineralógicos que exercem maior influência sobre as propriedades físicas, sendo responsáveis pelo desenvolvimento da estrutura dos solos. Tais autores, baseados nos trabalhos realizados por Emerson (1959) e Resende (1985), apresentaram as seguintes conclusões sobre a estruturação dos Latossolos brasileiros, dividindo-os em cauliniticos e gibbsíticos: (a) o Latossolo caulinitico, pela avaliação micromorfológica, revelou que a distribuição dos grãos de quartzo, em relação ao plasma, é eminentemente porfirógrânica, isto é, os grãos estão envoltos num plasma denso, contínuo,

com pouca tendência ao desenvolvimento de microestrutura. Esse fenômeno acarreta o surgimento de estruturas em blocos, fazendo com que os solos apresentem-se mais compactos, menos permeáveis, com menor estabilidade de agregados em água e maior tendência à erosão laminar. Desta forma, os autores justificam a menor estabilidade de agregados do solo desenvolvidos sob clima temperado; (b) nos Latossolos gibbsíticos, utilizando a mesma técnica, observou-se que a distribuição dos grãos de quartzo em relação ao plasma segue o padrão "agglutinic", ou seja, apresenta desenvolvimento de microestrutura com predomínio de poros de empacotamento composto. Isto envolve o surgimento de estrutura do tipo granular, apresentando-se mais porosos, mais permeáveis, com maior estabilidade de agregados em água e menores valores de densidade do solo (Ferreira et al., 1999b).

O objetivo deste estudo foi avaliar a influência da mineralogia da fração argila, incluindo as características cristalográficas dos minerais, sobre as propriedades físicas de duas classes de Latossolos provenientes de rochas basálticas, em diferentes posições no relevo (toposseqüência) no estado do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição geral das áreas e amostragem dos solos

As áreas estudadas pertencem aos Municípios de Guarapuava e Cascavel (PR), localizadas no Terceiro Planalto Paranaense, fazendo parte do Planalto de Guarapuava, situados entre os Rios Iguazu e Piquiri, limitando-se a oeste pelo rio Paraná e a leste pela serra da Boa Esperança (Maack, 1968). De maneira geral, o Terceiro Planalto é a região fisiográfica paranaense mais simples pelas suas formas e estruturas, com relevo levemente ondulado e chapadas de encostas suaves (Bigarella et al., 1994).

Segundo Schneider (1970), em área próxima a Cascavel, a rocha é o basalto vacuolar, o qual apresenta coloração preta, brilho resinoso, com predomínio de plagioclásio, piroxênios, magnetita e presença de alguns secundários (cloritas esverdeadas e óxidos e hidróxidos de Fe). Já em Guarapuava, foi identificado o andesi-basalto pórfiro (rocha mais ácida), o qual apresenta coloração cinza-clara a cinza-escura, com predomínio de plagioclásio (andesina), piroxênio (hiperstênio e augita), opacos (magnetita) e quartzo.

Com objetivo de analisar a influência dos minerais da fração argila nas propriedades físicas dos solos sob condições naturais, a toposseqüência no Município de Guarapuava localizou-se no Parque

Ambiental das Araucárias, situado na latitude 25° 21' 50" Sul e longitude 51° 28' 33" Oeste, com altitude de 1.068 m. Da mesma forma, a toposseqüência do Município de Cascavel localizou-se no Parque Ambiental de Cascavel, situado na latitude 24° 27' 21" Sul e longitude 53° 27' 19" Oeste, com altitude de 781 m. As toposseqüências apresentaram declividade média de 5 % e comprimento médio da rampa de 400 m. Foram abertas quatro trincheiras em cada área, distribuídas uniformemente da parte mais alta até à parte mais baixa da paisagem (Quadro 1).

Os solos foram morfológicamente descritos, segundo Lemos & Santos (1996), dando especial atenção à estrutura do horizonte Bw, determinando-se o tipo, grau de desenvolvimento e tamanho dos agregados. Para caracterização e classificação dos solos, amostras coletadas em todos os horizontes dos perfis foram submetidas a análises químicas (pH, teores trocáveis de Ca, Mg, K, Al, acidez potencial e C orgânico - Pavan et al., 1992) e à análise granulométrica (Embrapa, 1997). Os dados completos destas determinações e análises são apresentados por Ghidin et al. (2006). Os solos foram classificados como Latossolo Bruno ácrico húmico (LBw) (toposseqüência de Guarapuava) e Latossolo Vermelho distroférico húmico (LVdf) (toposseqüência de Cascavel) (Embrapa, 1999).

Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas dos horizontes Bw1 e Bw2 para análises físicas e micromorfológicas. Com auxílio de uma faca, verificou-se a consistência do solo, pela resistência oferecida à sua penetração, e foram atribuídas notas, que variaram de zero, consistência extremamente solta, até cinco, para muito coesa.

Densidade do solo (Ds) e densidade real (Dr)

A Ds foi determinada pelo método do anel volumétrico e a Dr pelo método do balão volumétrico preenchido com álcool etílico (Embrapa, 1997).

Estabilidades dos agregados via úmida

A estabilidade de agregados foi determinada em amostra indeformada e seca ao ar e peneirada manualmente em peneiras de malha 4 e 2 mm. Foram analisados os agregados com diâmetro entre 2 e 4 mm, tomando-se três repetições de 25 g. Para determinação da umidade, uma amostra da mesma classe de agregados foi levada à estufa a 105 °C por 12 h. As amostras foram colocadas em Placas de Petri, onde foram umedecidas lentamente com atomizador durante 15 min, a uma distância aproximada de 40 cm. Após o umedecimento, as amostras ficaram em repouso por duas horas, e, posteriormente, colocadas em jogo de peneiras com malha 2,0; 1,0; 0,50; 0,25 e 0,105 mm e agitadas em um oscilador mecânico (Yoder), durante 15 min, imersas em água. Os agregados retidos em cada

Quadro 1. Características gerais⁽¹⁾, análise granulométrica e teor de carbono orgânico (CO) dos solos

Amostra	Perfil/classe	Hor.	Prof.	Situação ⁽²⁾	Drenagem ⁽³⁾	Estrutura ⁽⁴⁾	Res. ⁽⁵⁾	Cons. ⁽⁶⁾	Análise granulométrica ⁽⁷⁾					Relação silte/argila	CO
									A	S	AF	AG	AT		
			cm						g kg ⁻¹						
1	P1 LBw	Bw1	58-120	TSE	AD	F,MP,G	2	MF	770	190	20	20	40	0,24	13,0
2	P1 LBw	Bw2	120-200			M, P, BS	5	F	760	190	20	30	50	0,25	3,3
3	P2 LBw	Bw1	50-110	TMSE	AD	M, MP, G	2	F	760	190	20	30	50	0,25	13,6
4	P2 LBw	Bw2	110-200			M, MP, BS	5	FI	770	150	40	40	80	0,19	5,1
5	P3 LBw	Bw1	54-110	TME	AD	F, P, G/BS	3	MF	780	180	20	20	40	0,23	13,6
6	P3 LBw	Bw2	110-200			M, MP, BS	4	F	760	200	10	30	40	0,26	4,5
7	P4 LBw	Bw1	107-160	TIE	DM/DI	M, MP, BS	4	MF	760	210	30	30	60	0,28	19,0
8	P4 LBw	Bw2	160-210			M, P, BS	5	FI	680	260	40	20	60	0,38	8,8
9	P5 LVdf	Bw1	60-153	TSE	AD	F, MP, G	2	F	770	190	20	20	40	0,24	13,0
10	P5 LVdf	Bw2	153-210			M, MP, BS	4	F	760	190	30	20	50	0,25	5,1
11	P6 LVdf	Bw1	65-142	TMSE	AD	F, P, G	2	MF	740	200	40	20	60	0,27	10,0
12	P6 LVdf	Bw2	142-177			M, P, BS	4	F	750	190	30	30	60	0,25	4,5
13	P7 LVdf	Bw1	67-145	TME	AD	M, MP, BS	3	F	700	230	40	30	70	0,32	10,6
14	P7 LVdf	Bw2	145-176			M, MP, BS	3	FI	680	200	70	50	120	0,29	7,5
15	P8 LVdf	Bw1	58-107	TIE	AD	F, MP, BS	3	F	680	230	50	40	90	0,33	13,6
16	P8 LVdf	Bw2	107-160			M, P, BS	5	F	680	250	40	60	100	0,38	8,8

⁽¹⁾ Descrição morfológica, segundo Lemos & Santos (1996). Classificação dos solos (Embrapa, 1999): LBw - Latossolo Bruno ácrico húmico, LVdf - Latossolo Vermelho distroférrico húmico. ⁽²⁾ Situação - posição do perfil na paisagem: TSE, TMSE, TME, TIE - terço superior, médio/superior, médio e inferior de elevação, respectivamente. ⁽³⁾ Drenagem: AD - acentuadamente drenado, DM/DI - drenagem moderada/imperfeita. ⁽⁴⁾ Estrutura: grau de desenvolvimento (F = forte, M = moderado), tamanho (MP = muito pequeno, P = pequeno), tipo (G = granular, BS = bloco subangular). ⁽⁵⁾ Resistência do horizonte B à penetração da faca, verificado em campo, variando de extremamente solto (0) até coeso (5). ⁽⁶⁾ Consistência no estado úmido: MF = muito friável, F = friável, FI = firme. ⁽⁷⁾ A = argila, S = silte, AF = areia fina, AG = areia grossa e AT = areia total.

peneira foram transferidos para placas de porcelana e, após secagem em estufa a 105 °C por 24 h, determinaram-se o peso do material seco e a percentagem de cada classe de agregados (Embrapa, 1997). Para expressar a distribuição dos agregados, utilizou-se o índice por tamanho (diâmetro médio geométrico - DMG), calculado pela seguinte fórmula:

$$DMG = 10^X$$

$$X = [S(n \log d) / S_n]$$

em que

n = % dos agregados retidos em determinada peneira.

d = diâmetro médio de determinada faixa de tamanho do agregado (mm).

Porosidade do solo

As amostras indeformadas coletadas em anel volumétrico foram saturadas com água e colocadas sob mesa de tensão, sendo retirada a água dos macroporos (poros com diâmetro $\geq 0,05$ mm), aplicando-se uma tensão de 60 cm de coluna de água. Após a retirada parcial da água, as amostras foram pesadas e levadas para secagem em estufa 105 °C por 12 h, determinando-se o volume de poros na amostra, conforme descrito abaixo (Embrapa, 1997):

- Porosidade total (Pt)

$$Pt (\%) = 100 (Dr - Ds) / Dr;$$

Dr = densidade real (g cm⁻³);

Ds = densidade do solo (g cm⁻³).

- Microporosidade (%) = (a-b)/c

a = peso da amostra após aplicação de uma tensão de 60 cm de coluna de água (g);

b = peso da amostra seca a 105 °C (g);

c = volume do cilindro (cm³).

- Macroporosidade (%) = porosidade total - microporosidade

Argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação (GF)

A ADA e o GF foram determinados de acordo com o método proposto pela Embrapa (1997).

Análise micromorfológica

Após secagem ao ar das amostras indeformadas dos horizontes Bw1 e Bw2, procedeu-se à primeira aplicação da mistura impregnadora na proporção de 100 mL de resina e 70 mL de monômero de estireno e duas gotas de catalisador. Após cada aplicação de

mistura impregnadora, o recipiente com a amostra de solo foi levado a um dissecador e submetido a vácuo de duas a quatro horas, até que a amostra ficasse completamente imersa na mistura. Foram realizadas de quatro a cinco aplicações, após as quais a amostra foi retirada e deixada em temperatura ambiente por cerca de 30 dias para endurecimento. Cortou-se, então, do bloco de solo impregnado, uma fatia de aproximadamente 1 mm de espessura, tendo sido uma de suas faces polida e colada em lâmina de vidro. Essa fatia foi desbastada em máquina de desbaste, usando carborundum de várias granulometrias, até atingir a espessura de 30 micrômetros (0,03 mm), quando, então, foi polida e examinada. A terminologia empregada na descrição micromorfológica das amostras consta em Curi et al. (1986).

Análise estatística

Os dados das análises químicas e mineralógicas da fração argila apresentados por Ghidin et al. (2006) e os dados das determinações físicas dos solos foram submetidos a análises estatísticas de correlação simples (Pearson), utilizando-se o programa SPSS for Windows 10.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Descrição geral dos perfis dos solos

A forma predominante da estrutura nos Latossolos, principalmente no horizonte Bw2, foi do tipo blocos subangulares (Quadro 1). Já no horizonte Bw1, identificou-se estrutura granular nas partes mais elevadas e blocos subangulares nas partes mais baixas das topossequências. Desta forma, conclui-se que o relevo foi o fator determinante na formação da estrutura. Segundo Moniz & Buol (1982), além do relevo, o material de origem e o clima são importantes fatores na definição do tipo, tamanho e grau de desenvolvimento das unidades estruturais.

De maneira geral, os menores valores de resistência do solo à penetração com a faca foram observados para o horizonte Bw1 (mais superficial), principalmente para aqueles com estrutura granular (Quadro 1). Este comportamento era esperado, uma vez que as estruturas com forma esferoidal conferem ao solo maior macroporosidade e porosidade total, resultando em consistência mais solta dos horizontes (Brady, 1989). Segundo Ferreira et al. (1999b), nas partes mais baixas das topossequências, verifica-se maior concentração de Si, proveniente do fluxo lateral e vertical da água pela ação da drenagem, aumentando, conseqüentemente, o teor de caulinita e fazendo com que o solo desenvolva um plasma mais denso. O horizonte Bw2 do LBw, nas diferentes posições da topossequência, apresentou consistência determinada em amostra de solo úmido (Lemos &

Santos, 1996), um grau menor de friabilidade em relação ao horizonte Bw1 (Quadro 1), comportamento atribuído ao fluxo vertical de Si nesta topossequência.

A fração argila foi o principal constituinte dos horizontes Bw1 e Bw2 dos solos (Quadro 1). Embora existam pequenas diferenças nos materiais de origem (rocha do LBw com maior teor de Si) (Schneider, 1970) e no clima (IAPAR, 2000), os dois Latossolos apresentaram textura muito argilosa, evidenciando a intensa alteração sofrida pelo material de origem.

Propriedades físicas dos solos

Verificou-se maior percentagem de macroporos no horizonte Bw1 dos Latossolos (Quadro 2), concordando com os dados da descrição morfológica (estrutura, resistência a penetração com a faca e consistência dos solos) (Quadro 1). A variação na percentagem de macroporos foi mais acentuada ao longo da topossequência do LBw, com redução do topo para a base. Neste ponto da topossequência, o solo apresentou-se mais adensado (Quadro 1), aumentando o volume de microporos (Quadro 2). No LVdf, o volume de microporos foi menor que no LBw, conferindo ao LVdf maior drenagem e menor potencial de retenção de água. Os valores da porosidade total (PT) apresentaram-se semelhantes nas partes mais altas das topossequências para ambos os solos.

Os valores encontrados para a densidade do solo (D_s) nas amostras do LBw, variaram de 0,77 a 1,27 g cm⁻³ (Quadro 2), sendo semelhantes aos valores publicados por Ker (1988) para a mesma classe de solo. Para o LVdf, os valores da D_s variaram de 0,81 a 0,96 g cm⁻³. No LBw, as amostras coletadas nas partes mais baixas da topossequência, onde o volume de macroporos foi menor, foram observados maiores valores de D_s , ou seja, os dados de porosidade total (Quadro 2) acompanharam, de maneira inversa, a variação da D_s . Considerando apenas os altos valores de macroporosidade (Quadro 2), esperava-se que os valores de D_s para o LVdf fossem menores. Este comportamento pode ser explicado pela maior presença de óxidos de Fe (Hm) e minerais ferrimagnéticos (maghemita/magnetita) nas frações deste solo. Como resultado, os valores de densidade real (D_r) para o LVdf foram maiores (2,81 a 3,07 g cm⁻³). Já para o LBw, com maiores teores de minerais silicatados e menores teores de Fe, os valores de D_r variaram de 2,56 a 2,85 g cm⁻³. A correlação entre o teor total de Fe e a D_r do solo foi significativa ($r = 0,78^{**}$).

O grau de flocculação da fração da argila foi elevado para todos os horizontes (Quadro 2), apresentando condições de alta estabilidade dos agregados. A baixa quantidade de CO nas amostras analisadas (Quadro 1) contribuiu, provavelmente, para o alto grau de flocculação.

A estabilidade dos agregados nos Latossolos, avaliada pelo peneiramento úmido, pode ser demonstrada pelos valores de diâmetro médio geométrico (DMG) (Quadro 3). Por meio do DMG, verificou-se variação no tamanho dos agregados nos Latossolos, com valores oscilando entre 3,34 e 4,12 mm, no LBw, e entre 2,86 e 3,80 mm, no LVdf. Os maiores valores de DMG foram observados nos horizontes mais profundos (Quadro 3), contribuindo para a redução no volume de macroporos e porosidade total do horizonte Bw2, principalmente para o LBw (Quadro 2).

Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas dos Latossolos

Verificou-se que os valores de coeficiente de correlação entre as características físicas e o teor de argila dos perfis do LBw foram altos e significativos (Quadro 4). Horizontes mais argilosos apresentaram maior percentagem de macroporos e porosidade total. Os minerais da fração argila são importantes para manter as partículas do solo floculadas, além de dar maior estabilidade aos agregados.

Quadro 2. Características físicas das amostras dos solos⁽¹⁾

Amostra	Perfil/classe	Horizonte	Macro	Micro	PT	Dr	Ds	ADA	GF
			%			g cm ⁻³		%	
1	P1 LBw	Bw1	30	41	71	2,70	0,77	2	93
2	P1 LBw	Bw2	23	47	70	2,85	0,85	3	89
3	P2 LBw	Bw1	24	44	68	2,56	0,83	1	96
4	P2 LBw	Bw2	09	53	62	2,77	1,05	0	100
5	P3 LBw	Bw1	25	45	70	2,70	0,80	2	94
6	P3 LBw	Bw2	17	49	66	2,63	0,88	0	100
7	P4 LBw	Bw1	15	49	64	2,63	0,95	0	100
8	P4 LBw	Bw2	02	52	54	2,77	1,27	0	100
9	P5 LVdf	Bw1	30	41	71	2,81	0,81	0	100
10	P5 LVdf	Bw2	25	45	70	2,94	0,89	0	100
11	P6 LVdf	Bw1	24	43	67	2,89	0,96	0	100
12	P6 LVdf	Bw2	25	44	69	3,07	0,94	0	100
13	P7 LVdf	Bw1	31	41	72	2,98	0,84	0	99
14	P7 LVdf	Bw2	28	41	69	3,03	0,94	0	100
15	P8 LVdf	Bw1	29	41	70	2,98	0,86	0	100
16	P8 LVdf	Bw2	29	41	70	2,94	0,87	0	100

⁽¹⁾ Macro = Macroporosidade, Micro = Microporosidade, PT = Porosidade total, Dr = Densidade real, Ds = Densidade do solo, ADA = Argila dispersa em água e GF = Grau de floculação.

Quadro 3. Percentagem dos agregados retidos nas diferentes classes de peneiras no ensaio de estabilidade dos agregados via úmida e diâmetro médio geométrico (DMG) das amostras dos solos

Amostra	Perfil/classe	Horizonte	Tamanho do agregado (mm)						DMG
			4 a 2	2 a 1	1 a 0,5	0,5 a 0,25	0,25 a 0,105	< 0,105	
									mm
1	P1 LBw	Bw1	86,52	4,82	1,12	0,94	0,61	5,99	3,36
2	P1 LBw	Bw2	90,92	3,58	0,42	0,26	0,26	4,56	3,80
3	P2 LBw	Bw1	85,76	5,36	1,25	1,21	0,89	5,53	3,34
4	P2 LBw	Bw2	90,12	3,94	0,61	0,37	0,29	4,67	3,73
5	P3 LBw	Bw1	87,49	3,82	0,89	0,89	0,68	6,23	3,37
6	P3 LBw	Bw2	91,94	3,80	0,52	0,37	0,52	2,85	4,12
7	P4 LBw	Bw1	89,20	4,32	0,52	0,44	0,26	5,26	3,62
8	P4 LBw	Bw2	91,72	3,08	0,42	0,24	0,22	4,32	3,87
9	P5 LVdf	Bw1	83,56	6,42	1,44	1,48	1,36	5,74	3,18
10	P5 LVdf	Bw2	90,21	4,22	0,60	0,52	0,48	3,97	3,80
11	P6 LVdf	Bw1	85,48	5,88	2,76	1,34	1,28	3,26	3,52
12	P6 LVdf	Bw2	88,56	5,48	0,74	0,56	0,42	4,24	3,69
13	P7 LVdf	Bw1	82,21	7,62	1,66	1,37	1,18	5,96	3,12
14	P7 LVdf	Bw2	84,01	6,70	1,53	1,20	1,00	5,56	3,26
15	P8 LVdf	Bw1	76,97	10,93	2,65	2,08	1,21	6,16	2,86
16	P8 LVdf	Bw2	82,69	6,45	1,68	1,50	1,20	6,48	3,08

Quadro 4. Coeficiente de correlação simples (Pearson) entre a densidade do solo (Ds), macroporosidade (macro) e microporosidade (micro), porosidade total (PT) e diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG) com carbono orgânico, teor de argila e características químicas e mineralógicas das amostras de argila do Latossolo Bruno (LBw)⁽¹⁾

	Ds	Macro	Micro	PT	DMG
Carbono Orgânico	-0,56	0,69	-0,78*	0,57	-0,90**
Argila	-0,84**	0,72*	-0,47	0,84**	-0,41
Teor Total					
Fe ₂ O ₃	-0,90**	0,90**	-0,76*	0,92**	-0,56
Al ₂ O ₃	0,24	-0,41	0,60	-0,24	0,45
SiO ₂	0,92**	-0,84**	0,68	-0,88**	0,53
Ki	0,40	-0,20	-0,07	-0,37	0,00
Kr	0,65	-0,45	0,17	-0,62	0,11
Teor DCB					
Fe ₂ O ₃	-0,82*	0,81*	-0,80*	0,76*	-0,66
Al ₂ O ₃	-0,60	0,69	-0,81*	0,55	-0,85**
Teor OAA					
Fe ₂ O ₃	0,35	-0,17	-0,11	-0,35	-0,21
Al ₂ O ₃	0,26	-0,25	0,05	-0,45	-0,27
Caulinita					
Teor do Mineral	0,92**	-0,93**	0,89**	-0,87**	0,73*
DMC(001)	-0,17	0,16	0,07	0,32	0,17
LMH(001)	0,10	0,01	-0,21	-0,15	-0,26
NMC	-0,18	0,17	0,07	0,32	0,18
ICHB	-0,19	0,16	-0,06	0,22	-0,31
Gibbsita					
Teor do Mineral	-0,96**	0,85**	-0,64	0,93**	-0,30
DMC(002)	-0,15	0,02	0,27	0,54	0,55
DMC(110)	-0,50	0,35	-0,04	0,54	0,24
LMH(002)	-0,10	0,18	-0,45	0,02	-0,59
LMH(110)	0,67	-0,51	0,19	-0,70*	0,04
Hematita (Hm)					
Teor do Mineral	-0,58	0,45	-0,21	0,64	0,21
DMC(110)	0,52	-0,57	0,64	-0,48	0,11
DMC(104)	0,71*	-0,68	0,62	-0,67	0,02
LMH(110)	-0,68	0,66	-0,59	0,60	0,16
LMH(104)	-0,58	0,51	-0,40	0,56	0,16
SI	-0,54	0,50	-0,33	0,57	-0,35
Goethita (Gt)					
Teor do Mineral	0,10	0,11	-0,34	0,06	-0,69
DMC(110)	-0,29	0,11	0,14	0,30	-0,10
DMC(111)	-0,10	-0,06	0,26	0,09	0,78*
LMH(110)	0,60	-0,43	0,14	-0,60	0,20
LMH(111)	0,10	0,07	-0,29	0,10	-0,75*
SI	0,15	0,02	-0,12	0,06	-0,34
Relação Gt/(Gt + Hm)	0,43	-0,30	0,02	0,47	-0,41

⁽¹⁾ Os valores para os atributos químicos e mineralógicos, os métodos empregados e os cálculos cristalográficos são apresentados no trabalho de Ghidin et al. (2006): Teores totais - digestão com água régia (mistura de HCl 36 %:HNO₃ 68 %); Relação molar entre os teores totais de óxidos - ki = 1,7 x SiO₂/Al₂O₃, kr = 1,7 x SiO₂ / [Al₂O₃ + (0,64 x Fe₂O₃)]; DCB - extração com ditionito-citrato-bicarbonato; OAA - extração com oxalato de amônio ácido; DMC - diâmetro médio do cristal; LMH - largura a meia altura; NMC - número médio de camadas; ICHB - índice de cristalinidade de Hughes & Brown; SI - substituição isomórfica de Fe por Al na estrutura da Hm e Gt.

* e **, significativos a 0,05 e 0,01 pelo teste T, respectivamente.

A melhoria das condições de drenagem (aumento da macroporosidade, PT e redução na Ds) do LBw foi consistentemente acompanhada pelo aumento nos teores de óxidos de Fe total e óxidos de Fe-DCB (Quadro 4). Como resultado, observou-se redução na microporosidade (r entre Fe_2O_3 -total e Fe_2O_3 -DCB e microporosidade = $-0,76^*$ e $-0,80^*$, respectivamente). O aumento nos teores de hematita (Hm) e goethita (Gt) favoreceram a formação de estruturas menores e com formato mais esférico (Chagas et al., 1997; Silva et al., 1998), propiciando incremento da macroporosidade e PT do solo. Na descrição morfológica dos solos, verificou-se variação no tamanho, tipo e grau de desenvolvimento das estruturas (Quadro 1). Dada a ausência de correlação entre os teores de Hm e Gt e a porosidade do LBw (Quadro 4), conclui-se que a atuação dos óxidos de Fe nas propriedades físicas do solo foi de forma conjunta, impossibilitando a separação dos efeitos desses constituintes. De acordo com os dados apresentados por Ghidin et al. (2006), apesar do predomínio de Gt na maioria dos horizontes do LBw, os valores para a relação Gt/(Gt + Hm) variaram de 0,33 a 0,81.

Adicionalmente ao efeito dos óxidos de Fe, a gibbsita (Gb) também influenciou positivamente a estruturação do LBw (r entre teores de Gb e macroporosidade, PT e Ds = $0,85^{**}$, $0,93^{**}$ e $-0,96^{**}$, respectivamente - Quadro 4). Segundo Resende (1985), Resende et al. (1992) e Resende et al. (1997), a Hm, Gt e Gb apresentaram efeito desorganizador dos minerais filossilicatados, notadamente a Ct, evitando o ajuste face a face e favorecendo a formação de estruturas mais esferoidais. Neste sentido, ainda em relação ao LBw, ficou claro o efeito negativo da Ct na estrutura do solo, em que o aumento nos teores do mineral e nos teores de SiO_2 total acarretou aumento da microporosidade e Ds e redução na macroporosidade e PT (Quadro 4). Ferreira et al. (1999a,b) também obtiveram relação direta entre Ds, desenvolvimento de plasma mais denso do solo (análise micromorfológica) e teores de Ct.

Considerando a pequena variação nos atributos físicos (Quadro 2) e nos teores dos minerais na fração argila (Ghidin et al., 2006), de maneira geral, não houve correlação entre os valores de macroporosidade, microporosidade, PT e Ds e os atributos mineralógicos considerados para o LVdf (Quadro 5). Mesmo com baixos teores na fração argila (valores oscilando entre 18 e 48 g kg^{-1} - Ghidin et al., 2006), os maiores valores dos coeficientes de correlação foram observados para os óxidos de Fe e Al de baixa cristalinidade (OAA), onde a presença destes minerais favoreceu a macroporosidade em detrimento da microporosidade do solo (Quadro 5). Pinheiro-Dick & Schwertmann (1995) e Pedrotti et al. (2003) também observaram efeito positivo dos minerais de baixa cristalinidade sobre a agregação do solo. Estes minerais apresentam alta superfície

específica e alta densidade de carga, o que lhes confere grande influência sobre as propriedades físico-químicas do solo.

Com relação ao diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados, maiores teores de carbono orgânico (CO) levaram à redução do tamanho médio das estruturas para ambos os solos (Quadros 4 e 5). O menor tamanho dos agregados foi refletido na redução da microporosidade dos solos (r entre CO e microporosidade para o LBw e o LVdf = $-0,78^*$ e $-0,73^*$, respectivamente). Verificou-se também efeito negativo dos teores dos óxidos de Fe de baixa cristalinidade (OAA) e, ou, mais cristalinos (DCB) nos valores de DMG (Quadros 4 e 5), concordando com o efeito destes minerais sobre a porosidade dos solos (maiores valores de DMG estão associados a solos com menor volume de macroporos e de porosidade total).

Os teores dos minerais na fração argila foram mais importantes que suas características cristalográficas na definição da estrutura e porosidade dos solos (Quadros 4 e 5). Outro fator que contribuiu para este comportamento foi a reduzida variação nos valores das propriedades cristalográficas dos minerais de acordo com a profundidade do solo e posição do perfil na topossequência (Ghidin et al., 2006). Para o LVdf, apenas os coeficientes de correlação entre o tamanho médio do cristal da Gb [DMC(110)] e a PT (correlação negativa) e a Ds (correlação positiva) foram significativos. Verificou-se comportamento semelhante para o diâmetro médio do cristal da Hm no domínio (104) para o LBw. Provavelmente, as menores partículas de Gb e Hm, por apresentarem maior atividade (maior superfície específica), foram mais importantes na formação das estruturas granulares, o que resultou no aumento da PT e redução da Ds do solo. Além do efeito na forma dos agregados, a presença destes minerais favoreceu a redução do tamanho das estruturas (Silva et al., 1998).

Micromorfologia

Foram examinadas seções delgadas de horizontes selecionados (horizonte Bw1 e Bw2), dando ênfase aos seguintes aspectos: trama, plasma e poros. Estas características foram classificadas de acordo com Curi et al. (1986).

Latossolo Bruno ácrico

As amostras dos horizontes Bw1 do LBw dos perfis 1, 2 e 3 (Quadro 1 e Figura 1) apresentaram trama porfírica aberta, com poros de empacotamento composto e localmente do tipo grânica. No horizonte Bw1 do perfil 4, o plasma denso contínuo, com menor tendência ao desenvolvimento de microestrutura, contribuiu para o surgimento da trama porfírica aberta, com poros do tipo aplainados irregulares. Poros do tipo cavidades foram observados em todos os perfis.

Quadro 5. Coeficiente de correlação simples (Pearson) entre a densidade do solo (Ds), macroporosidade (macro) e microporosidade (micro), porosidade total (PT) e diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG) com carbono orgânico, teor de argila e características químicas e mineralógicas das amostras de argila do Latossolo Vermelho (LVdf)⁽¹⁾

	Ds	Macro	Micro	PT	DMG
Carbono Orgânico	-0,23	0,63	-0,73*	0,30	-0,81*
Argila	0,01	-0,46	0,65	-0,10	0,70
Teor Total					
Fe ₂ O ₃	-0,43	0,46	-0,43	0,34	-0,45
Al ₂ O ₃	-0,69	0,37	-0,13	0,50	0,05
SiO ₂	-0,18	0,15	-0,17	0,08	-0,27
Ki	0,02	0,22	-0,37	-0,02	0,50
Kr	0,13	0,02	-0,12	0,08	-0,18
Teor DCB					
Fe ₂ O ₃	-0,41	0,50	-0,42	0,42	-0,36
Al ₂ O ₃	-0,53	0,68	-0,87**	0,24	-0,89**
Teor OAA					
Fe ₂ O ₃	-0,49	0,76*	-0,81*	0,45	-0,86**
Al ₂ O ₃	-0,56	0,83**	-0,87**	0,50	0,80*
Caulinita					
Teor do Mineral	0,17	-0,14	0,34	0,12	0,20
DMC(001)	0,44	-0,51	0,25	-0,63	0,06
LMH(001)	-0,50	0,47	-0,24	0,57	-0,15
NMC	0,45	-0,54	0,28	-0,64	0,08
ICHB	-0,20	0,00	0,10	0,10	-0,19
Gibbsita					
Teor do Mineral	0,37	-0,56	0,63	-0,29	0,84**
DMC(002)	0,37	-0,35	0,24	-0,35	0,18
DMC(110)	0,85**	-0,67	0,30	-0,84**	0,35
LMH(002)	0,41	-0,41	0,24	-0,46	0,32
LMH(110)	-0,69	0,57	-0,24	0,73*	-0,27
Hematita					
Teor do Mineral	-0,34	0,04	0,09	0,08	-0,11
DMC(110)	0,28	0,12	-0,29	-0,10	-0,30
DMC(104)	0,02	0,02	0,28	0,30	0,38
LMH(110)	0,43	-0,24	0,17	-0,23	0,09
LMH(104)	-0,36	0,26	-0,37	0,05	-0,53
SI	-0,72*	0,25	0,23	0,70	0,07

⁽¹⁾ Os valores para os atributos químicos e mineralógicos, os métodos empregados e os cálculos cristalográficos são apresentados no trabalho de Ghidin et al. (2006): Teores totais - digestão com água régia (mistura de HCl 36 %:HNO₃ 68 %); Relação molar entre os teores totais de óxidos - ki = 1,7 x SiO₂/Al₂O₃, kr = 1,7 x SiO₂ / [Al₂O₃ + (0,64 x Fe₂O₃)]; DCB - extração com ditionito-citrato-bicarbonato; OAA - extração com oxalato de amônio ácido; DMC - diâmetro médio do cristal; LMH - largura a meia altura; NMC - número médio de camadas; ICHB - índice de cristalinidade de Hughes & Brown; SI - substituição isomórfica de Fe por Al na estrutura da Hm. Os dados referentes ao teor e às características cristalográficas da goethita não foram apresentados em virtude da ausência do mineral na metade das amostras do LVdf.

* e **, significativos a 0,05 e 0,01 pelo teste T, respectivamente.

Os horizontes Bw2 revelaram plasma denso, com menor tendência ao desenvolvimento de microestrutura, principalmente na amostra do perfil 4, em predominância da porfírica aberta, nas amostras dos perfis 1 e 2 (Figura 1), e porfírica fechada, nos perfis 3 e 4. Os poros das amostras dos perfis 1, 2, 3 e 4 foram planares irregulares com cavidades. Pela micromorfologia, pôde-se observar, nos horizontes Bw2, que, do topo para as partes mais

baixas da topossequência, ocorreu diminuição da macroporosidade, concordando com os resultados da análise física (Quadros 2 e 3). Esse fato foi atribuído principalmente ao aumento no teor de Ct e redução no teor de Gb e óxidos de Fe nas partes mais baixas da topossequência, principalmente no perfil 4 (r entre macroporosidade e nos teores de Ct, Gb e Fe₂O₃-DCB = -0,93**, 0,85** e 0,81*, respectivamente - Quadro 4).

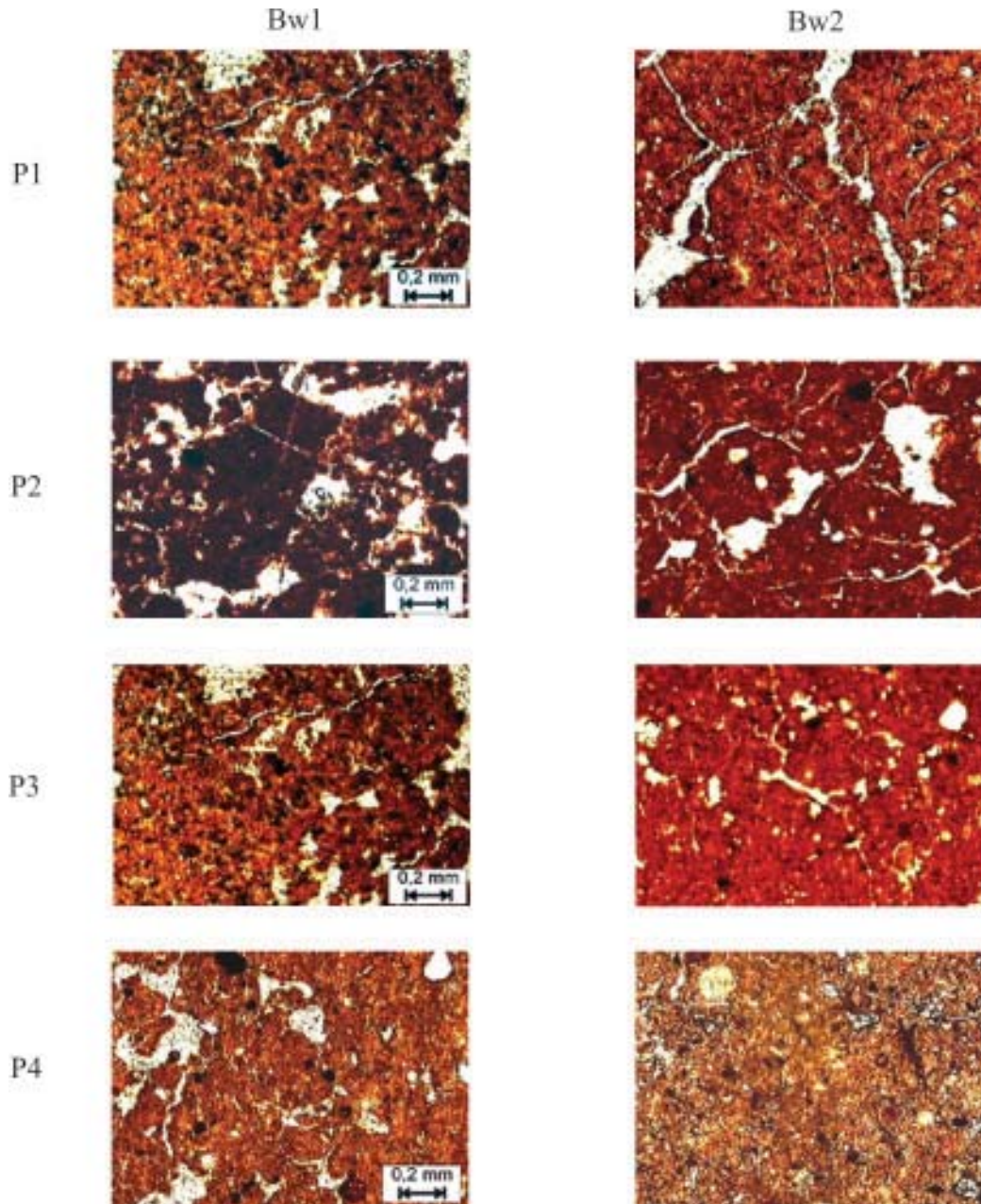


Figura 1. Microfotografia dos horizontes Bw1 e Bw2 do Latossolo Bruno ácrico húmico de diferentes perfis na toposseqüência (detalhes da posição dos perfis na paisagem - Quadro 1).

Latossolo Vermelho distroférico

Os horizontes Bw1 do LVdf apresentaram plasma individualizado em unidades estruturais de forma arredondada e subarredondada, às vezes discretos ou coalescentes, gerando a trama grânica e granóidica, com poros de empilhamento composto, resultante do empacotamento dos agregados (Figura 2). A estrutura granular foi atribuída ao maior teor de Gb e óxidos de Fe em relação a Ct (Resende, 1985; Ferreira et al., 1999a). A forma granular da estrutura conferiu ao solo maior

percentual de macroporosidade (Figura 2 e Quadros 1 e 2). A semelhança nas características micromorfológicas das amostras ao longo da toposseqüência (Figura 2) deveu-se à proximidade dos teores dos minerais da fração argila entre os perfis, principalmente, Ct, Gb e Hm (Ghidin et al., 2006).

Os horizontes Bw2, assim como os Bw1 desta mesma classe, apresentaram características micromorfológicas semelhantes ao longo da toposseqüência, bem como plasma também individualizado em unidades estruturais de forma

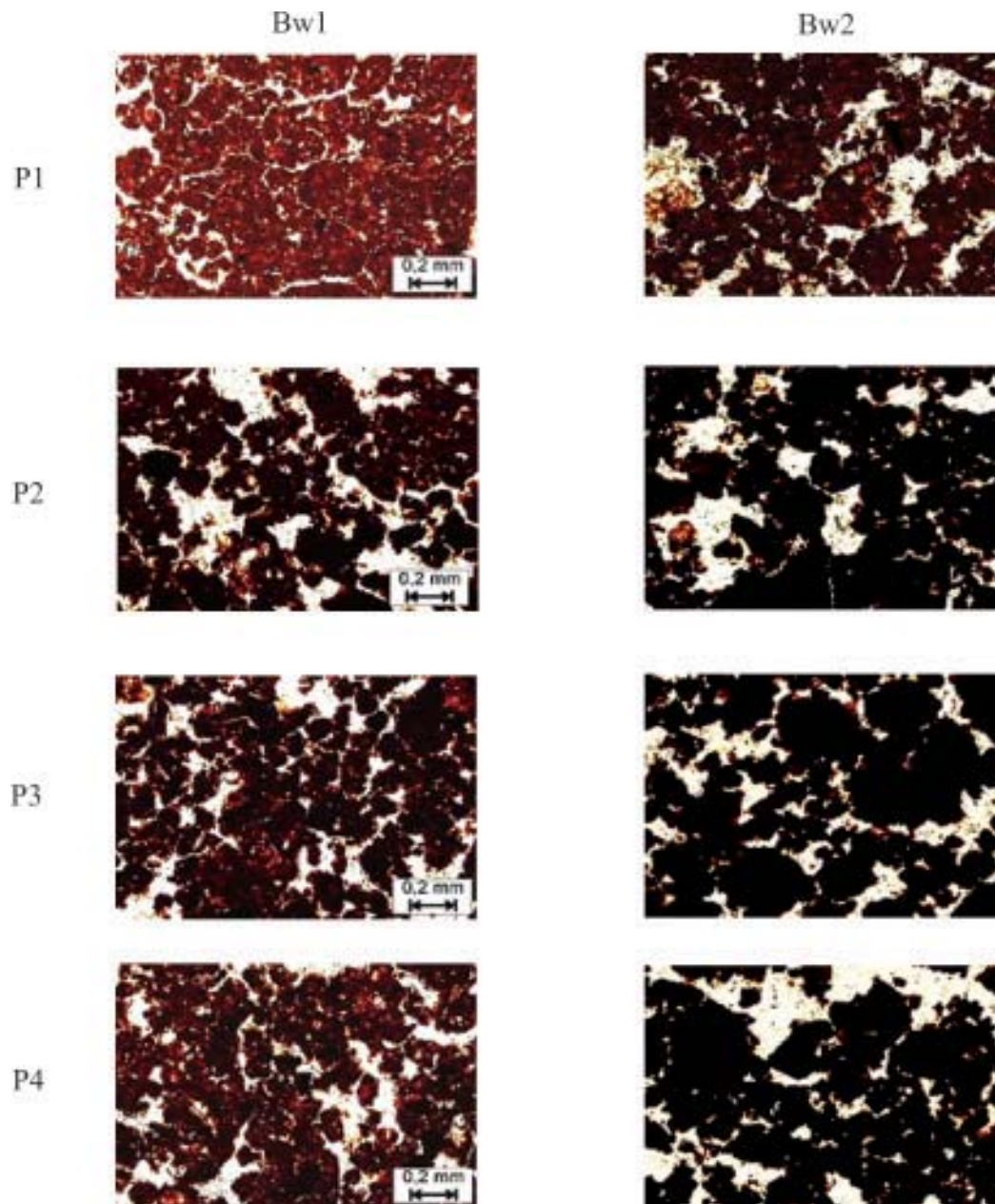


Figura 2. Microfotografia dos horizontes Bw1 e Bw2 do Latossolo Vermelho distroférrico húmico de diferentes perfis na toposseqüência (detalhes da posição dos perfis na paisagem - Quadro 1).

arredondada e subarredondada, gerando a trama grânica e granóidica e poros de empacotamento composto.

Comentário geral

Comparando as características micromorfológicas entre os horizontes Bw1 do LVdf e LBw, percebeu-se que, mesmo sendo semelhante o teor de CO nas amostras (Quadro 1), os horizontes Bw1 do LBw apresentaram trama porfírica, portanto com menor tendência ao desenvolvimento de estrutura

do tipo granular. Este comportamento foi atribuído às mudanças nas características físicas dos solos de acordo com as variações nos teores dos minerais da fração argila (Quadros 4 e 5). Nos horizontes Bw2, as diferenças micromorfológicas entre o LVdf e o LBw mostraram-se mais evidentes. O LBw apresentou estrutura em blocos, mais densa (trama porfírica), diminuindo a capacidade de drenagem nestes horizontes. Desta forma, parte do fluxo da drenagem desloca-se no sentido do topo para a base, possibilitando maior concentração de sílica nas áreas

mais baixas da toposseqüência. Desta forma, a formação da Ct foi favorecida, tornando, conseqüentemente, o solo mais adensado (Quadro 4), conforme observação em campo da resistência à penetração com a faca (Quadro 1). Já as características morfológicas do LVdf, facilitaram o maior fluxo da drenagem no sentido vertical em virtude da estrutura granular (trama grânica e granóidica).

CONCLUSÕES

1. A hematita (Hm), goethita (Gt) e gibbsita (Gb) foram responsáveis pelo aumento na macroporosidade, porosidade total (PT) e redução na densidade do solo (Ds) para o Latossolo Bruno ácrico (LBw). Verificou-se influência oposta para a caulinita (Ct), em que os maiores teores do mineral nos horizontes mais profundos e nos perfis mais baixos da toposseqüência favoreceram o desenvolvimento de estruturas maiores (maior diâmetro médio geométrico dos agregados). Como resultado, a análise micromorfológica destas amostras evidenciou a presença de plasma denso, com trama porfírica fechada.

2. As correlações entre os atributos físicos e os teores de Ct, Hm, Gt e Gb na fração argila não foram significativas para o Latossolo Vermelho distroférico (LVdf). Este comportamento foi atribuído à maior homogeneidade das características mineralógicas desta classe de solo ao longo da toposseqüência. Aparentemente, os óxidos de Fe e Al de baixa cristalinidade foram mais importantes no incremento da macroporosidade e PT dos horizontes do LVdf.

3. As características cristalográficas dos minerais da fração argila não afetaram, de forma expressiva, as características físicas do LVdf e do LBw.

LITERATURA CITADA

- BIGARELLA, J.J.; BECKER, R.D. & SANTOS, G.F. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Fundamentos geológico-geográficos alteração química e física das rochas. In: BECKER, R.D., ed. Relevo cárstico e dômico. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, 1994. p.31-76.
- BRADY, N.C. Natureza e propriedade dos solos. 7.ed. Rio de Janeiro, Livraria Freitas Bastos, 1989. 878p.
- CHAGAS, C.S.; CURI, N.; DUARTE, M.N.; MOTTA, P.E.F. & LIMA, J.M. Orientação das camadas de rochas metapelíticas pobres na gênese de Latossolos sob cerrado. *Pesq. Agropec. Bras.*, 32:539-548, 1997.
- CURI, N. & FRANZMEIER, D.P. Toposequence of Oxisols from the Central Plateau of Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:341-346, 1984.
- CURI, N.; LIMA, P.C. & LEPSCH, I. Terminologia de micromorfologia de solos. In: B. Inf. SBCS, 10:9-16, 1986.
- DESHPANDE, T.L., GREENLAND, P.J & QUIRK, J.P. Changes in soil properties associated with the removal of iron and aluminium oxide. *J. Soil Sci.*, 19:108-122, 1968.
- EMERSON, W.W. The structure of soil crumbs. *J. Soil Sci.*, 10:235-244, 1959.
- EMPRESA NACIONAL DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Rio de Janeiro. Sistema Brasileiro de classificação de solos. Brasília, Serviço de Produção de Informação, 1999. 412p.
- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B. & CURI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da Região Sudeste do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:507-514, 1999a.
- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B. & CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da Região Sudeste do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:515-524, 1999b.
- GHIDIN, A.A.; MELO, V.F.; LIMA, V.C. & LIMA, J.M.J.C. Toposseqüências de Latossolos originados de rochas balsáticas no Paraná. I - Mineralogia da fração argila. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:293-306, 2006.
- GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P. & IMHOFF, S. Relações entre propriedades físicas e características de solos na Região Sul do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:885-893, 2002.
- INSTITUTO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO PARANÁ-IAPAR. Cartas climáticas do Paraná. Londrina, 2000. 1 CD ROOM.
- KER, J.C. Caracterização química, física, mineralógica e micromorfológica de solos brunos subtropicais. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1988. 148p. (Tese de Mestrado)
- LEMO, R.C. & SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 3.ed. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 84p.
- MAACK, R. Geografia física do Estado do Paraná. Curitiba, 1968. 350p.
- MELO, V.F.; SINGH, B.; SCHAEFER, C.E.G.R.; NOVAIS, R.F. & FONTES, M.P.F. Chemical and mineralogical properties of kaolinite-rich Brazilian soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65:1324-1333, 2001a.
- MELO, V.F.; FONTES, M.P.F.; NOVAIS, R.F.; SINGH, B. & SCHAEFER, C.E.G.R. Características dos óxidos de ferro e de alumínio de diferentes classes de solos. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:19-32, 2001b.
- MONIZ, A.C. & BUOL, S.W. Formation of an Oxisol-Ultisol transition in São Paulo, Brazil: I. Double-water flow model of soil development. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:1228-1235, 1982.
- PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F.; ZEMPUSKI, H.C.; MIYAZAWA, M. & ZOCOLER, D.C. Manual de análise química do solo e controle de qualidade. Circular n, IAPAR, 1992. (Circular, 76)

- PEDROTTI, A.; FERREIRA, M.M.; CURI, N.; SILVA, M.L.N.; LIMA, J.M. & CARVALHO, R. Relação entre atributos físicos, mineralogia da fração argila e formas de alumínio no solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:1-9, 2003.
- PINHEIRO-DICK, D. & SCHWERMANN, U. Características químicas, mineralógicas e morfológicas de microagregados de oxissolos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. Resumos expandidos. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p.262-264.
- RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. *Inf. Agropec.*, 11:3-18, 1985.
- RESENDE, M.; CARVALHO FILHO, A. & LANI, J.L. Características do solo e da paisagem que influenciam a suscetibilidade à erosão. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, Goiânia, 1990. Anais. Campinas, Fundação Cargill, 1992. p.32-67.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B. & CORRÊA, G.F. Pedologia: Base para distinção de ambientes. Viçosa, NEPUT, 1997. 367p.
- SCHNEIDER, A.W. Vulcanismo basáltico da bacia do Paraná: perfil Foz do Iguaçu – Serra da Esperança. In: CONGRESSO BRASILEIRO GEOLOGIA, 26., Brasília, 1970. Anais. Brasília, Sociedade Brasileira de Geologia, 1970. p.211-217.
- SCHWERTMANN, U. & KÄMPF, N. Properties of goethite and hematite in kaolinitic soils of Southern and Central Brazil. *Soil Sci.*, 139:344-350, 1985.
- SILVA, M.L.N.; BLANCANEUX, P.; CURI, N.; LIMA, J.M.; MARQUES, J.J.G.S.M. & CARVALHO, A.M. Estabilidade e resistência de agregados de Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. *Pesq. Agropec. Bras.*, 33:97-103, 1998.
- SINGH, B. & GILKES, R.J. Properties of soil kaolinites from South-Western Australia. *J. Soil Sci.*, 43:645-667, 1992a.
- SINGH, B. & GILKES, R.J. Properties and distribution of iron oxides and their association with minor elements in the soils of South-Western Australia. *J. Soil Sci.*, 43:77-98, 1992b.