

MORFOLOGIA DE AGREGADOS DE LATOSSOLOS BRUNO E VERMELHO DO ESTADO DO PARANÁ, AVALIADA POR IMAGENS OBTIDAS EM *SCANNER*⁽¹⁾

Vander de Freitas Melo⁽²⁾, Rodrigo de Moura⁽³⁾, Fernando Henrique Toledo⁽³⁾, Valmiqui Costa Lima⁽⁴⁾ & André Ademir Ghidin⁽⁵⁾

RESUMO

A forma e o tamanho das estruturas definem a maioria das características dos solos, principalmente a porosidade total e a distribuição dessa porosidade em macro e microporos. Objetivou-se neste trabalho o estudo da morfologia de diferentes classes de tamanho de agregados de duas toposequências de Latossolos (Latosolo Bruno distrófico húmico - LBd e Latossolo Vermelho distroférico húmico - LVdf), ambos sob condições naturais e originados de rochas basálticas no Paraná, por meio de análise de imagens. Foram coletadas amostras indeformadas de dois horizontes (Bw1 e Bw2) nas toposequências do LBd (quatro perfis) e do LVdf (três perfis). Após secagem, as amostras foram separadas em seis classes de tamanho de agregados (2-4 mm; 1-2 mm; 0,5-1 mm; 0,25-0,5 mm; 0,105-0,25 mm; e < 0,105 mm), determinando-se a distribuição percentual e o diâmetro médio geométrico (DMG). As imagens dos agregados das quatro maiores classes foram obtidas com *scanner* e processadas pelo programa de computador UTHSCSA Image Tool. Os agregados do LBd e do LVdf foram predominantemente poliedrais e rugosos, o que deve contribuir para aumentar a superfície externa destes. Os maiores valores de DMG, área e perímetro dos agregados foram verificados para o LBd, sobretudo para o horizonte mais profundo (Bw2). O grau de arredondamento aumentou com a diminuição da classe de tamanho dos agregados para ambos os solos, ou seja, agregados menores tendem a ser mais esféricos e menos rugosos. A

⁽¹⁾ Recebido para publicação em outubro de 2006 e aprovado em setembro de 2007.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Paraná – UFPR. Rua dos Funcionários 1540, CEP 80035-050 Curitiba (PR). Bolsista CNPq. E-mail: vanderfm@ufpr.br

⁽³⁾ Acadêmico do Curso de Agronomia, UFPR. Bolsista PIBIC/CNPq. E-mails: rodemoura@ufpr.br; zumbi@ufpr.br

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR. E-mail: valmiqui@ufpr.br

⁽⁵⁾ Professor do Curso de Gestão Ambiental, Faculdade Palas Atena – FPA. CEP 85560-000 Chopinzinho (PR). E-mail: ghidin@chnet.com.br

qualidade da fração argila teve efeito não apenas no tamanho dos agregados, mas também na morfologia externa destes. Para algumas classes de tamanho de agregados dos horizontes do LBd e do LVdf, o aumento no DMG e na área, o crescimento preferencial em um eixo (alongamento) e a redução da rugosidade externa dos agregados foram favorecidos pelo maior teor de caulinita na fração argila. Efeito oposto foi verificado para os óxidos de Fe e Al.

Termos de indexação: alongamento e rugosidade do agregado, caulinita, óxidos de Fe e Al.

SUMMARY: MORPHOLOGY OF SOIL STRUCTURE OF THE RED-YELLOW AND DUSKY RED LATOSOLS OF PARANÁ STATE, BRAZIL, BY SCANNER IMAGE ANALYSES

The shape and size of aggregates define most soil characteristics, mainly the total porosity and macro and micropore distribution. This study aimed to investigate the morphology of soil aggregates of different size classes of a Red-Yellow (LBd) and a Dusky Red Latosol (LVdf) located in two respective natural toposequences, in Paraná State, Brazil, using scanner images. Undisturbed soil samples of the Bw1 and Bw2 horizons were collected in four LBd profiles and three profiles of the LVdf toposequence. After drying, the aggregates were separated into six size-classes (2–4 mm; 1–2 mm; 0.5–1 mm; 0.25–0.5 mm; 0.105–0.25 mm; < 0.105 mm), to determine the percentage mass distribution and geometric mean diameter (GMD). Aggregate images of the four coarsest size-classes were scanned and processed by UTHSCSA Image Tool. The aggregate shape of both soils was predominantly polyedric, with high roughness, which supposedly increases the external surface area of aggregates. A higher GMD, aggregate area and perimeter were verified in LBd than in the LVdf samples, especially in the Bw2 horizon. The aggregate roundness increased with the decrease in aggregate size, i.e., smaller aggregates seemed to be more spherical and less rough. The clay mineralogy was related with both size and surface morphology of the aggregates. In some size classes of the LBd and LVdf horizons, an increased GMD and area, the preferential growth in one axe (lengthiness) and the external roughness reduction of the structures were favored by the kaolinite content in the clay fraction. The opposite effect was verified for Fe and Al oxides.

Index terms: aggregate elongation and roughness, Fe and Al oxides, kaolinite.

INTRODUÇÃO

A estrutura é um fator-chave dos solos, em suas habilidades de suportar plantas e animais e moderar a qualidade do ambiente, pois influencia diretamente o movimento e retenção de água, erosão, encrostamento superficial, ciclagem de nutrientes, penetração de raízes, poluição da água superficial e subterrânea e trocas gasosas com a atmosfera. Os agregados ocorrem em várias formas e tamanhos e são, freqüentemente, agrupados em macroagregados (> 250 µm) e microagregados (< 250 µm) (Edwards & Bremner, 1967). O estudo da morfologia dos agregados reveste-se de grande interesse agrônomo e ambiental – por exemplo, agregados esferoidais, principalmente aqueles de menor tamanho, de grande ocorrência nos Latossolos, deixam grande volume de macroporos no solo (Ghidin et al., 2006b), o que facilita a infiltração de água e o crescimento das raízes das plantas.

Portanto, técnicas que permitem o estudo preciso da forma e tamanho dos agregados – mais especificamente, o grau de arredondamento ou de rugosidade da superfície externa – são importantes como ferramenta para previsão de eventos práticos na utilização dos solos. Olszewski et al. (2004) utilizaram *scanner* para aquisição de imagens e adaptaram o programa de computador UTHSCSA Image Tool (Wilcox et al., 1997) para descrever com detalhe os agregados de diferentes tamanhos de um Latossolo Vermelho distrófico de Sete Lagoas (MG), submetido a diferentes tipos de manejo. Como resultado prático, os autores não observaram efeitos morfológicos expressivos nos agregados do solo, mesmo após três anos consecutivos de uso.

Os agregados são unidades secundárias formadas pela combinação de partículas minerais com substâncias orgânicas e inorgânicas, em decorrência das cargas elétricas superficiais das partículas coloidais. A dinâmica complexa da floculação das

partículas sólidas e agregação do solo é resultado da interação de vários fatores, incluindo ambientais, manejo do solo, influência da planta e propriedades do solo, como textura, composição mineral, teor de carbono orgânico, processos pedogenéticos, atividade microbiana, íons trocáveis, reserva de nutrientes e umidade (Singer et al., 1992; Deneff et al., 2002; Six et al., 2004).

A forma dos minerais da fração argila é considerada um importante fator na definição do tamanho e da forma dos agregados. A caulinita, gibbsita, goethita e hematita são os principais minerais da fração argila dos Latossolos brasileiros, apresentando diferentes concentrações e características físico-químicas (Kämpf et al., 1988a,b; Singh & Gilkes, 1992; Melo et al., 2001a,b). A participação quantitativa desses minerais nas características físicas dos solos foi discutida em vários trabalhos (Schwertmann & Kämpf, 1985; Pinheiro-Dick & Schwertmann, 1995; Ferreira et al., 1999a). Resende (1985) e Resende et al. (1992, 1997) atribuíram, principalmente, à hematita, gibbsita e goethita o efeito desorganizador dos minerais filossilicatos na fração argila, destacando-se a caulinita. Assim, o maior teor destes constituintes corresponde à maior grau de desorganização microscópica e, conseqüentemente, a uma estrutura mais próxima do tipo granular. Por outro lado, os autores também discutem o efeito da caulinita na agregação dos Latossolos, atribuindo ao arranjo face a face do mineral a estrutura predominantemente em blocos.

Avaliando apenas o efeito da espécie mineral da fração argila sobre as propriedades físicas dos Latossolos, Ferreira et al. (1999b) reportaram a maior participação dos óxidos de Al na definição da morfologia dos agregados dos Latossolos, em relação ao óxidos de Fe. Por outro lado, o trabalho de Pinheiro-Dick & Schwertmann (1995) não conseguiu distinguir o efeito dessas duas classes de minerais, e a presença dos óxidos de Fe e Al resultou, indistintamente, na alta estabilidade dos agregados dos Oxissolos. Segundo esses autores, tanto as formas de Fe pobremente cristalinas quanto a goethita e hematita participaram efetivamente dos processos de agregação.

O objetivo deste trabalho foi estudar a morfologia de diferentes classes de tamanho de agregados dos horizontes Bw1 e Bw2 de perfis de Latossolos Bruno e Vermelho, por meio de análise de imagens obtidas em *scanner*, bem como correlacionar as características morfológicas de cada classe de tamanho com a mineralogia da fração argila da respectiva classe.

MATERIAL E MÉTODOS

As áreas estudadas pertencem aos municípios de Guarapuava e Cascavel (PR) (Terceiro Planalto Paranaense). 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). 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.

Foram abertas quatro trincheiras em Guarapuava [(Latossolo Bruno distrófico húmico – LBd – Embrapa, (1999)] e três em Cascavel (Latossolo Vermelho distroférico húmico – LVdf), coletando-se amostras indeformadas dos horizontes Bw1 e Bw2. Obteve-se a seguinte distribuição das trincheiras nos segmentos da toposseqüência (declividade média de 5 % e comprimento médio de rampa de 400 m): LBd–P1, terço superior da encosta (TSE); P2, terço médio/superior da encosta (TMSE); P3, terço médio da encosta (TME); e P4, terço inferior da encosta; e LVdf–P1, TSE; P2, TME; e P3, TIE. As características morfológicas dos perfis (P1 a P4 para o LBd e P1 a P3 para o LVdf) e as análises químicas das amostras deformadas dos horizontes (TFSA) podem ser obtidas em Ghidin et al. (2006a).

A toposseqüência em Guarapuava localizou-se no Parque Ambiental das Araucárias, situado na latitude de 25 ° 21 ' 50 " sul e longitude de 51 ° 28 ' 33 " oeste, com altitude de 1.068 m. O clima, segundo a classificação de Köppen, é Cfb, com precipitação pluvial de 1.600 a 1.800 mm (IAPAR, 2000). A toposseqüência em Cascavel, também em área de preservação ambiental, localizou-se no Parque Ambiental de Cascavel, situado na latitude de 24 ° 27 ' 21 " sul e longitude de 53 ° 27 ' 19 " oeste, com altitude de 781 m. O clima é o Cfa, e a média da precipitação pluvial é de 1.800 a 2.000 mm (IAPAR, 2000).

Após secagem ao ar, foram pesados cerca de 500 g de amostras (torrões) dos horizontes Bw1 e Bw2 dos perfis P1 a P4 do LBd e dos perfis P1 a P3 do LVdf; em seguida, foram separadas seis classes de tamanhos de agregados (4–2; 1–2; 0,5–1; 0,25–0,5; 0,105–0,25; e < 0,105 mm), utilizando-se um sistema de peneiras acopladas a um agitador orbital, com agitação por 5 min (estabilidade de agregados via seca – Embrapa (1997). A velocidade de trabalho do aparelho foi na escala 7, quando este oferece opções na faixa de 0 a 10. A quantidade de amostra (torrões) usada na separação das classes de agregados foi definida com base em testes prévios para distribuição adequada dos agregados na primeira peneira e para submeter as amostras às mesmas condições experimentais.

Os agregados retidos em cada peneira foram transferidos para placas de porcelana e determinaram-se o peso do material seco e a percentagem de cada classe de agregados. Para expressar a distribuição dos agregados, utilizou-se o índice por tamanho (diâmetro médio geométrico - DMG), calculado pela seguinte fórmula (Kemper & Rosenau, 1986):

$$DMG = 10^X$$

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

em que n = massa dos agregados retidos em determinada peneira (g); e d = diâmetro médio de determinada faixa de tamanho do agregado (mm).

Realizou-se o estudo da forma e do tamanho dos agregados (Figura 1), após aquisição de imagens com o uso de *scanner* (HP 2400). Pequena quantidade de amostra das quatro maiores classes de agregados (2–4; 1–2; 0,5–1; e 0,25–0,5 mm) foi espalhada sobre uma placa de vidro, não excedendo as dimensões de 20 x 20 cm, e os agregados foram separados manualmente, um a um, com auxílio de estilete e de lupa. A resolução utilizada foi de 600 dpi para todos os agregados analisados. A exclusão das duas menores classes no estudo morfológico foi devida à dificuldade operacional, falta de nitidez das imagens dos agregados menores e dificuldade de distinção entre agregados e poeira na placa de vidro.

As imagens foram processadas (exemplo apresentado na Figura 2) por meio do programa de computador denominado UTHSCSA Image tool

(Wilcox et al., 1997), adaptado para utilização em estudo de morfologia de agregados por Olszewski et al. (2004). O programa gera um número para cada agregado (Figura 2b), realizando o estudo morfológico individualizado. Ao final, em planilhas do tipo Excel, o programa calcula o somatório e os valores médios das variáveis estudadas. Para eliminar interferências, após identificação de partículas na imagem processada (Figura 2a) que não eram agregados (partículas de poeira que se desprenderam durante o espalhamento dos agregados sobre o *scanner*), mas que foram numeradas, a linha com os valores correspondentes a esses números (impurezas) foi diretamente eliminada na planilha de cálculo.

As variáveis analisadas nos agregados foram (Olszewski et al., 2004): área, perímetro, comprimento do maior eixo e do menor eixo, grau de arredondamento, alongamento, diâmetro de Feret e compacidade. Essas variáveis fornecem informações sobre o tamanho, a forma e a rugosidade dos agregados:

Área (Ar): corresponde ao número de pixels no polígono.

Perímetro (Pm): comprimento da projeção do limite exterior do agregado.

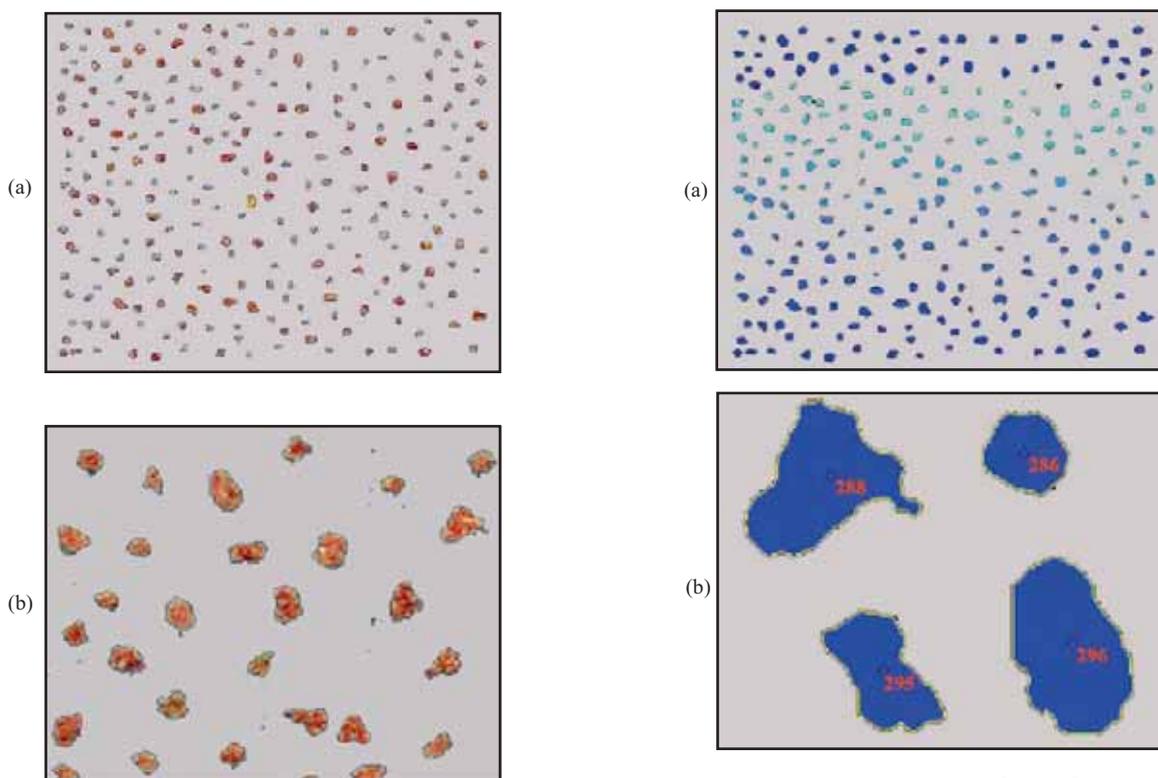


Figura 1. Imagem obtida no *scanner* dos agregados da classe de tamanho de 1 a 2 mm do horizonte Bw2 do perfil 3 do Latossolo Bruno. (a) imagem original; e (b) imagem ampliada (*zoom*), mostrando as diferentes morfologias dos agregados.

Figura 2. Imagem processada pelo programa UTHSCSA Image tool dos agregados da classe de tamanho de 1 a 2 mm do horizonte Bw2 do perfil 3 do Latossolo Bruno. (a) imagem original processada; e (b) imagem processada e ampliada (*zoom*), mostrando a numeração de cada agregado feita pelo programa.

Comprimento do maior eixo (CME): comprimento de uma linha traçada perpendicularmente ao maior eixo do agregado.

Comprimento do menor eixo: comprimento de uma linha traçada perpendicularmente ao menor eixo do agregado.

Alongamento: relação entre o comprimento do menor eixo e o comprimento do maior eixo. O resultado é um valor entre 0 e 1. Quando maior o valor, menor é a diferença entre os comprimentos dos eixos perpendiculares e menor o alongamento.

Arredondamento (Ard): medida dependente da rugosidade da superfície externa do agregado (perímetro - Pm). Fornecerá o resultado entre 0 e 1; quanto maior o valor, maior o grau de arredondamento.

$$\text{Ard} = (4\pi \text{Ar}) / \text{Pm}^2 \quad (1)$$

Diâmetro de Feret (DF): diâmetro de um círculo com a mesma área do objeto.

$$\text{DM} = (4 \text{Ar} / \pi)^{1/2} \quad (2)$$

Compacidade (Cmp): fornece uma medida da circularidade do objeto, sendo dependente da medida do comprimento do maior eixo. Varia de 0 a 1; se for igual a 1, o agregado é perfeitamente circular.

$$\text{Cmp} = (4 \text{Ar} / \pi)^{1/2} / \text{CME} \quad (3)$$

Com o objetivo de verificar o efeito dos minerais sobre os aspectos morfológicos dos agregados dos horizontes Bw1 e Bw2 dos perfis do LBd e do LVdf, os dados mineralógicos da fração argila determinados por Melo et al. (2008) (Quadro 1) e os obtidos no presente estudo para os agregados da mesma classe de tamanho foram submetidos a análises estatísticas de correlação simples (Pearson), utilizando-se o programa SPSS for Windows 10.0. As correlações com a distribuição e o diâmetro médio geométrico foram feitas com os dados das seis classes de agregados (2–4; 1–2; 0,5–1; 0,25–0,5; 0,105–0,25; e < 0,105 mm), e das características morfológicas (área, perímetro, arredondamento, diâmetro de Feret e compacidade), com apenas os dados das quatro maiores classes de agregados escaneadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Distribuição dos agregados em classes de tamanho

A maior proporção de agregados para o LVdf foi observada para a classe intermediária de tamanho

(0,25–0,5 mm) (Quadro 2). Verificou-se o mesmo comportamento para o perfil localizado no terço superior da encosta para o LBd, enquanto para os perfis 2, 3 e 4, principalmente para o horizonte Bw2, houve maior retenção de agregados na maior classe de tamanho (2–4 mm). De maneira análoga, os maiores valores de diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG) foram obtidos para o horizonte Bw2 das posições mais baixas da toposequência do LBd.

De acordo com os dados obtidos por Melo et al. (2008), verifica-se grande variação nos teores de caulinita, para um mesma classe de agregados, na toposequência do LBd e do LVdf (Quadro 1). Quanto maior o teor de caulinita na fração argila das maiores classes de agregados (2–4 e 1–2 mm), maior participação dessas classes nos horizontes do LBd ($r = 0,9^*$ e $0,7^*$, respectivamente - Quadro 3), o que evidencia o efeito positivo da caulinita no tamanho dos agregados, em função do arranjo face a face desse mineral (Resende et al., 1997). O mesmo efeito pode ser observado na classe de 2–4 mm para o LVdf ($r = 0,8^*$). Por outro lado, os horizontes do LBd que apresentaram a maior percentagem de agregados de menor tamanho (classes menores que 1 mm) também mostraram menor teor de caulinita na fração argila na mesma classe de agregados (coeficientes de correlação negativos e significativos).

O maior teor de goethita na fração argila dos agregados < 0,105 mm resultou na maior percentagem dessa classe de agregados nos horizontes do LBd ($r = 0,8^*$ - Quadro 3), que está de acordo com o trabalho de Resende et al. (1992), em que os maiores teores dos óxidos de Fe e Al favoreceram a redução do tamanho das estruturas do solo. O mesmo efeito, também esperado para hematita, não foi observado para o LVdf (solo com maior teor de hematita - Quadro 1), onde os maiores teores do mineral nos agregados menores que 0,5 mm favoreceram a redução da percentagem das menores classes de agregados (Quadro 3). Com relação à gibbsita, não se verificou comportamento consistente entre teor do mineral e distribuição das classes dos agregados (Quadro 3).

Morfologia dos agregados

Os dados da morfologia dos agregados por análise de imagens obtidas no *scanner* são apresentados por classe de tamanho (Quadros 4 a 7). Para o LBd a área média dos agregados do horizonte Bw2 das classes de tamanho de 2–4, 1–2 e 0,25–0,5 mm foi maior em relação à do horizonte Bw1 (Quadros 4, 5 e 7), confirmando os dados obtidos para o DMG para essas classes de agregados (Quadro 2). Na classe 0,5–1 mm não houve comportamento consistente para a área dos agregados entre os horizontes Bw1 e Bw2 (Quadro 6).

Quanto maior o teor de óxidos de Fe e Al cristalinos (gibbsita+goethita+hematita) na classe de 0,25–0,5 mm, menor a área média dessa classe de agregados nos horizontes do LBd ($r = -0,87^{**}$ - Quadro 8). Conforme

Quadro 1. Composição mineralógica da fração argila das amostras das diferentes classes de agregados dos perfis do Latossolo Bruno (LBd) e Latossolo Vermelho (LVdf)⁽¹⁾

Solo, perfil e horizonte	Classe	Caulinita	Gibbsita	Goethita	Hematita	Amorfo	Óx. total
Latossolo Bruno (LBd)							
LBd P1 Bw1	1	423	311	103	69	44	483
LBd P1 Bw2	1	405	247	78	73	35	398
LBd P2 Bw1	1	425	296	121	42	19	459
LBd P2 Bw2	1	560	269	77	70	18	416
LBd P3 Bw1	1	435	317	98	70	44	485
LBd P3 Bw2	1	507	299	78	83	39	460
LBd P4 Bw1	1	509	298	98	41	39	437
LBd P4 Bw2	1	557	204	100	21	18	325
LBd P1 Bw1	2	408	307	100	58	55	465
LBd P1 Bw2	2	512	282	93	71	18	446
LBd P2 Bw1	2	519	330	138	33	25	501
LBd P2 Bw2	2	508	273	80	77	21	430
LBd P3 Bw1	2	410	321	125	46	39	492
LBd P3 Bw2	2	499	297	78	81	38	456
LBd P4 Bw1	2	538	309	102	46	51	457
LBd P4 Bw2	2	543	194	109	22	42	325
LBd P1 Bw1	3	510	314	111	66	29	491
LBd P1 Bw2	3	499	295	84	86	30	465
LBd P2 Bw1	3	517	321	147	37	20	505
LBd P2 Bw2	3	482	276	86	64	22	426
LBd P3 Bw1	3	414	322	105	57	53	484
LBd P3 Bw2	3	536	296	80	82	18	458
LBd P4 Bw1	3	597	305	97	52	43	454
LBd P4 Bw2	3	572	203	97	29	38	329
LBd P1 Bw1	4	423	310	103	41	29	454
LBd P1 Bw2	4	585	306	84	84	35	474
LBd P2 Bw1	4	442	312	134	43	25	489
LBd P2 Bw2	4	502	275	79	72	22	426
LBd P3 Bw1	4	457	320	95	57	49	472
LBd P3 Bw2	4	496	303	85	70	24	458
LBd P4 Bw1	4	571	318	0	108	47	426
LBd P4 Bw2	4	567	201	106	28	24	335
LBd P1 Bw1	5	490	314	106	57	31	477
LBd P1 Bw2	5	471	297	76	77	27	450
LBd P2 Bw1	5	475	312	158	31	26	501
LBd P2 Bw2	5	550	295	73	67	15	435
LBd P3 Bw1	5	453	333	113	55	49	501
LBd P3 Bw2	5	535	299	99	70	24	468
LBd P4 Bw1	5	502	294	93	45	44	432
LBd P4 Bw2	5	628	217	98	17	34	332
LBd P1 Bw1	6	361	232	122	47	38	401
LBd P1 Bw2	6	489	300	75	71	25	446
LBd P2 Bw1	6	486	323	187	46	28	556
LBd P2 Bw2	6	560	295	64	75	27	434
LBd P3 Bw1	6	447	323	103	65	52	491
LBd P3 Bw2	6	522	308	74	83	23	465
LBd P4 Bw1	6	659	329	89	43	43	461
LBd P4 Bw2	6	587	205	83	41	28	329

Continua...

Quadro 1. Continuação

Solo, perfil e horizonte	Classe	Caulinita	Gibbsita	Goethita	Hematita	Amorfo	Óx. total
Latossolo Vermelho (LVdf)							
LVdf P1 Bw1	1	388	350	38	166	38	554
LVdf P1 Bw2	1	393	371	34	192	31	597
LVdf P2 Bw1	1	412	377	32	240	16	649
LVdf P2 Bw2	1	426	367	25	220	32	612
LVdf P3 Bw1	1	411	308	53	199	29	560
LVdf P3 Bw2	1	328	346	44	189	24	579
LVdf P1 Bw1	2	375	351	58	200	37	609
LVdf P1 Bw2	2	421	373	2	222	32	597
LVdf P2 Bw1	2	375	381	39	197	19	617
LVdf P2 Bw2	2	429	367	43	228	16	638
LVdf P3 Bw1	2	367	302	56	180	22	538
LVdf P3 Bw2	2	348	351	50	198	26	599
LVdf P1 Bw1	3	375	352	64	179	40	595
LVdf P1 Bw2	3	403	372	23	197	27	592
LVdf P2 Bw1	3	364	360	15	204	18	579
LVdf P2 Bw2	3	414	372	37	310	22	719
LVdf P3 Bw1	3	416	314	48	188	26	550
LVdf P3 Bw2	3	328	341	41	192	33	574
LVdf P1 Bw1	4	377	353	40	222	36	615
LVdf P1 Bw2	4	376	366	18	206	32	590
LVdf P2 Bw1	4	383	353	35	186	27	574
LVdf P2 Bw2	4	401	363	33	228	19	624
LVdf P3 Bw1	4	357	298	60	191	26	549
LVdf P3 Bw2	4	326	346	44	176	33	566
LVdf P1 Bw1	5	362	344	56	197	31	597
LVdf P1 Bw2	5	410	374	32	166	35	572
LVdf P2 Bw1	5	361	366	34	207	26	607
LVdf P2 Bw2	5	400	346	31	201	33	578
LVdf P3 Bw1	5	399	309	60	205	22	574
LVdf P3 Bw2	5	313	341	36	182	33	559
LVdf P1 Bw1	6	416	359	50	185	34	594
LVdf P1 Bw2	6	412	367	15	175	32	557
LVdf P1 Bw1	6	416	359	50	185	34	594
LVdf P2 Bw2	6	414	370	25	243	20	638
LVdf P3 Bw1	6	410	307	68	200	28	575
LVdf P3 Bw2	6	345	342	43	179	37	564

⁽¹⁾ Adaptado de Melo et al. (2008), de onde se obtêm os detalhes metodológicos das análises mineralógicas. Classes de agregados 1–2 a 4 mm; 2–1 a 2 mm; 3–0,5 a 1 mm; 4–0,25 a 0,5 mm; 5–0,105 a 0,25 mm; e 6 – < 0,105 mm. Caulinita e gibbsita: determinadas com base na análise termogravimétrica; Hematita e goethita: quantificadas com base no teor de Fe₂O₃ obtido na extração com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e características obtidas por difratometria de raios X; Material amorfo: determinado pela redução em massa da amostra pelo tratamento com oxalato de amônio ácido; Óx. total: soma dos óxidos de Fe e Al cristalinos (gibbsita + goethita + hematita).

Quadro 2. Distribuição e diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados dos horizontes Bw1 e Bw2 de diferentes perfis do Latossolo Bruno (LBd) e do Latossolo Vermelho (LVdf)

Amostra	Solo	Perfil	Horizonte	2-4 mm	1-2 mm	0,5-1 mm	%			DMG
							0,25-0,5 mm	0,105-0,25 mm	< 0,105 mm	
1	LBd	P1	Bw1	15,6	14,6	15,7	23,5	19,8	10,8	0,49
2	LBd	P1	Bw2	16,3	16,4	16,2	22,6	18,3	10,1	0,53
3	LBd	P2	Bw1	13,5	15,4	16,6	23,6	19,5	11,3	0,47
4	LBd	P2	Bw2	26,4	20,1	16,2	17,4	12,4	7,4	0,76
5	LBd	P3	Bw1	12,5	15,4	18,5	25,4	18,5	9,7	0,49
6	LBd	P3	Bw2	32,3	18,8	14,3	15,2	11,6	7,8	0,83
7	LBd	P4	Bw1	27,3	19,7	15,2	16,9	12,9	8,0	0,75
8	LBd	P4	Bw2	29,6	19,1	15,5	14,5	12,1	9,2	0,77
9	LVdf	P5	Bw1	12,8	14,0	15,1	23,5	21,2	13,5	0,43
10	LVdf	P5	Bw2	10,5	11,7	14,7	24,7	23,2	15,2	0,38
11	LVdf	P6	Bw1	14,1	15,2	16,3	23,8	19,7	10,9	0,48
12	LVdf	P6	Bw2	20,3	17,4	15,7	20,7	16,4	9,5	0,60
13	LVdf	P7	Bw1	10,0	14,2	18,5	26,0	20,3	11,0	0,44
14	LVdf	P7	Bw2	6,4	11,2	16,3	27,7	24,8	13,6	0,36

Quadro 3. Análise de correlação entre os teores de minerais na fração argila das diferentes classes de agregados e a percentagem de agregados retidos nas peneiras para o Latossolo Bruno (LBd) e para o Latossolo Vermelho (LVdf)⁽¹⁾

Agregado	LBd				LVdf			
	Caulinita	Gibbsita	Goethita	Hematita	Caulinita	Gibbsita	Goethita	Hematita
4-2 mm	0,9**	-0,4	-0,5	-0,1	0,8°	0,4	-0,8°	0,5
2-1 mm	0,7°	-0,5	-0,6	0,2	0,4	0,1	0,3	0,2
1-0,5 mm	-0,8*	0,3	0,4	-0,2	0,1	0,9*	0,1	-0,1
0,5-0,25 mm	-0,6	0,6	0,4	-0,2	-0,9**	-0,4	0,4	-0,8*
0,25-0,105 mm	-0,8*	0,6	0,5	0,1	-0,5	0,1	0,1	-0,7
< 0,105 mm	-0,7°	-0,2	0,8*	-0,3	-0,1	0,1	-0,2	-0,9*

⁽¹⁾ °, *, **: coeficientes de correlação (r) significativos a 0,1; 0,05; e 0,01, respectivamente, pelo teste t. Para o LBd foram feitas oito observações (quatro perfis x dois horizontes) e para o LVdf apenas seis (três perfis x dois horizontes).

discutido para os valores de DMG, esse comportamento é atribuído ao efeito desorganizador dos óxidos de Fe e Al cristalinos no ajuste dos cristais de caulinita, reduzindo o tamanho dos agregados. O efeito oposto desses minerais na classe de 2-4 mm no LVdf, onde os maiores teores de gibbsita + goethita + hematita

favoreceram o aumento da área dos agregados ($r = 0,91^*$), pode ser relacionado à maior tendência de neutralização das cargas negativas da caulinita, o que contribuiu para o crescimento dos agregados (o efeito de floculação de partículas foi mais importante no crescimento dos agregados que o efeito físico da forma

Quadro 4. Valores médios de área, perímetro, alongamento, arredondamento, diâmetro de Feret e compacidade de agregados entre 2 e 4 mm de diâmetro, obtidos dos horizontes Bw1 e Bw2 de diferentes perfis do Latossolo Bruno (LBd) e Latossolo Vermelho (LVdf)

Perfil	LBd		LVdf	
	Bw1	Bw2	Bw1	Bw2
	Área, mm ²			
1	9,6	10,5	7,0	7,5
2	9,9	10,0	8,3	7,8
3	10,2	11,8	6,3	7,4
4	10,4	10,5		
	Σ Área/Massa, cm ² g ⁻¹ ⁽¹⁾			
1	3,8	4,8	5,9	5,6
2	4,6	4,8	5,0	5,2
3	5,1	4,4	5,4	5,7
4	4,6	4,5		
	Perímetro, mm			
1	17,7	15,3	14,0	14,4
2	15,6	14,3	16,2	14,4
3	15,1	16,2	13,7	14,2
4	15,1	14,1		
	Σ Perímetro/Massa, cm g ⁻¹ ⁽²⁾			
1	70,5	70,7	117,0	107,5
2	79,1	68,1	96,5	94,7
3	76,3	60,5	117,0	107,8
4	67,1	60,0		
	Alongamento			
1	0,691	0,671	0,675	0,678
2	0,682	0,663	0,656	0,664
3	0,679	0,671	0,652	0,660
4	0,669	0,673		
	Arredondamento			
1	0,407	0,569	0,474	0,480
2	0,527	0,620	0,430	0,495
3	0,568	0,572	0,450	0,485
4	0,582	0,657		
	Diâmetro de Feret, mm			
1	3,425	3,557	2,924	3,045
2	3,507	3,512	3,213	3,082
3	3,505	3,832	2,786	3,027
4	3,591	3,599		
	Compacidade			
1	0,038	0,039	0,033	0,036
2	0,038	0,042	0,037	0,036
3	0,041	0,046	0,034	0,036
4	0,043	0,043		

⁽¹⁾ Área total (AT), sobre massa de agregados (MA) analisados no scanner: [AT (mm²)/MA (g)]/100. ⁽²⁾ Perímetro total (PT), sobre massa de agregados (MA) analisados no scanner: [PT (mm)/MA (g)]/10.

dos minerais), principalmente por se tratar de um solo mais oxidado (Quadro 1). Nos valores de pH normalmente observados para os solos brasileiros (3,5 a 6,5), a caulinita apresenta predomínio de cargas negativas, e a hematita, predomínio de cargas positivas (Fontes et al., 2001; Deneff et al., 2002). Devido à relação

entre as variáveis, esse comportamento também foi verificado para o perímetro das classes de agregados do LBd e do LVdf (Quadro 8).

Dentro de uma mesma classe, de maneira geral, os agregados do LBd apresentaram maior área que o

Quadro 5. Valores médios de área, perímetro, alongamento, arredondamento, diâmetro de Feret e compactidade de agregados entre 1 e 2 mm de diâmetro, obtidos dos horizontes Bw1 e Bw2 de diferentes perfis do Latossolo Bruno (LBd) e Latossolo Vermelho (LVdf)

Perfil	LBd		LVdf	
	Bw1	Bw2	Bw1	Bw2
	Área, mm ²			
1	3,3	3,4	2,9	2,4
2	3,2	3,6	3,0	2,9
3	2,7	3,1	2,4	3,2
4	3,2	3,3		
	Σ Área/Massa, cm ² g ⁻¹ (1)			
1	10,0	9,9	9,9	10,6
2	9,8	9,8	9,2	9,0
3	10,7	9,5	9,1	9,1
4	9,4	9,5		
	Perímetro, mm			
1	8,0	8,0	7,7	6,9
2	7,7	8,1	7,9	7,8
3	7,1	7,5	7,1	8,4
4	7,5	7,5		
	Σ Perímetro/Massa, cm g ⁻¹ (2)			
1	246	232	269	302
2	236	219	243	241
3	275	232	265	237
4	221	218		
	Alongamento			
1	0,685	0,676	0,685	0,677
2	0,671	0,677	0,673	0,670
3	0,691	0,653	0,652	0,644
4	0,705	0,659		
	Arredondamento			
1	0,643	0,659	0,614	0,651
2	0,673	0,695	0,612	0,613
3	0,689	0,683	0,623	0,594
4	0,705	0,723		
	Diâmetro de Feret, mm			
1	1,987	2,044	1,882	1,727
2	1,991	2,122	1,938	1,894
3	1,841	1,948	1,733	1,997
4	1,986	2,020		
	Compactidade			
1	0,023	0,024	0,022	0,020
2	0,024	0,025	0,022	0,022
3	0,023	0,024	0,022	0,024
4	0,023	0,023		

(1) Área total (AT), sobre massa de agregados (MA) analisados no scanner: [AT (mm²)/MA (g)]/100. (2) Perímetro total (PT), sobre massa de agregados (MA) analisados no scanner: [PT (mm)/MA (g)]/10.

LVdf (Quadros 4 a 7). Provavelmente o maior teor de caulinita no primeiro solo (Quadro 1) tenha sido decisivo para essa diferença. O maior “perímetro específico” (somatório do perímetro sobre a massa dos agregados) dos horizontes do LVdf também foi consistentemente maior em relação ao LBd nas duas

maiores classes, resultado do menor tamanho médio dos agregados.

Olszewski et al. (2004) utilizaram a mesma técnica de estudo dos agregados de um Latossolo Vermelho distrófico submetido a diferentes sistemas de manejo e obtiveram valores médios inferiores para os

Quadro 6. Valores médios de área, perímetro, alongamento, arredondamento, diâmetro de Feret e compactidade de agregados entre 0,5 e 1 mm de diâmetro, obtidos dos horizontes Bw1 e Bw2 de diferentes perfis do Latossolo Bruno (LBd) e Latossolo Vermelho (LVdf)

Perfil	LBd		LVdf	
	Bw1	Bw2	Bw1	Bw2
	Área, mm ²			
1	0,723	0,713	0,666	0,611
2	0,657	0,688	0,788	0,740
3	0,850	0,864	0,703	0,583
4	0,875	0,692		
	Σ Área/Massa, cm ² g ⁻¹ (1)			
1	22,3	23,2	20,5	22,4
2	22,3	25,2	18,9	19,0
3	20,1	22,4	17,2	19,9
4	20,5	22,9		
	Perímetro, mm			
1	3,4	3,4	3,3	3,1
2	3,2	3,2	3,6	3,4
3	3,7	3,8	3,4	3,0
4	3,7	3,3		
	Σ Perímetro/Massa, cm g ⁻¹ (2)			
1	1053	1092	1006	1125
2	1091	1183	864	880
3	875	984	833	833
4	878	1081		
	Alongamento			
1	0,680	0,663	0,683	0,684
2	0,648	0,689	0,643	0,680
3	0,684	0,678	0,669	0,705
4	0,686	0,694		
	Arredondamento			
1	0,783	0,789	0,777	0,804
2	0,790	0,811	0,756	0,778
3	0,772	0,758	0,759	0,797
4	0,779	0,811		
	Diâmetro de Feret, mm			
1	0,944	0,937	0,906	0,866
2	0,899	0,918	0,983	0,956
3	1,026	1,025	0,935	0,846
4	1,036	0,922		
	Compactidade			
1	0,012	0,011	0,011	0,011
2	0,010	0,011	0,012	0,011
3	0,012	0,012	0,011	0,010
4	0,012	0,010		

(1) Área total (AT), sobre massa de agregados (MA) analisados no scanner: [AT (mm²)/MA (g)]/100. (2) Perímetro total (PT), sobre massa de agregados (MA) analisados no scanner: [PT (mm)/MA (g)]/10.

parâmetros área e perímetro. Uma das explicações para esse comportamento pode ser que os agregados do presente estudo foram coletados em área de preservação ambiental (vegetação nativa), onde a falta

de manejo do solo favoreceu a manutenção do tamanho dos agregados.

Estudos morfológicos a campo, de forma generalizada, definem a forma de agregados dos

Quadro 7. Valores médios de área, perímetro, alongamento, arredondamento, diâmetro de Feret e compacidade de agregados entre 0,25 e 0,5 mm de diâmetro, obtidos dos horizontes Bw1 e Bw2 de diferentes perfis do Latossolo Bruno (LBd) e Latossolo Vermelho (LVdf)

Perfil	LBd		LVdf	
	Bw1	Bw2	Bw1	Bw2
	Área, mm ²			
1	0,283	0,241	0,231	0,261
2	0,233	0,270	0,250	0,251
3	0,252	0,301	0,242	0,235
4	0,283	0,340		
	Σ Área/Massa, cm ² g ⁻¹ ⁽¹⁾			
1	37,8	39,3	32,7	31,3
2	39,5	40,1	32,0	33,0
3	36,8	39,2	28,2	31,1
4	37,8	36,8		
	Perímetro, mm			
1	2,1	1,9	1,8	2,0
2	1,8	2,0	1,9	1,9
3	1,9	2,1	1,9	1,8
4	2,0	2,2		
	Σ Perímetro/Massa, cm g ⁻¹ ⁽²⁾			
1	2750	3069	2585	2338
2	3114	2937	2490	2514
3	2800	2781	2225	2437
4	2701	2432		
	Alongamento			
1	0,708	0,660	0,689	0,663
2	0,674	0,691	0,700	0,680
3	0,687	0,683	0,656	0,684
4	0,674	0,656		
	Arredondamento			
1	0,846	0,862	0,867	0,861
2	0,870	0,865	0,855	0,864
3	0,859	0,836	0,838	0,867
4	0,865	0,845		
	Diâmetro de Feret, mm			
1	0,590	0,545	0,537	0,571
2	0,540	0,579	0,558	0,560
3	0,560	0,608	0,550	0,542
4	0,594	0,649		
	Compacidade			
1	0,007	0,006	0,006	0,007
2	0,006	0,007	0,006	0,007
3	0,006	0,007	0,007	0,006
4	0,007	0,008		

⁽¹⁾ Área total (AT), sobre massa de agregados (MA) analisados no scanner: [AT (mm²)/MA (g)]/100. ⁽²⁾ Perímetro total (PT), sobre massa de agregados (MA) analisados no scanner: [PT (mm)/MA (g)]/10.

Latossolos como sendo esferoidal, o que não é comprovado pelos dados do presente estudo (Figuras 1b e 2b). Os valores do parâmetro alongamento, para todas as classes de agregados (Quadros 4 a 7), ficaram abaixo de 1,0, indicando a forma mais poliedral das

estruturas. Verifica-se tendência de os agregados do horizonte Bw2 do LBd apresentarem menores valores de alongamento que o Bw1 (Quadros 4 a 7), ou seja, estruturas com maior diferença entre o maior e o menor eixo (valores de alongamento mais próximos a

Quadro 8. Análise de correlação entre os teores dos minerais obtidos em cada classe de agregado com os atributos morfológicos médios, também das diferentes classes de agregados do Latossolo Bruno (LBd) e do Latossolo Vermelho (LVdf)

Classe	LBd						LVdf					
	Ct	Gb	Gt	Hm	Am	Óx. total	Ct	Gb	Gt	Hm	Am	Óx. total
Área												
2-4 mm	0,30	-0,11	-0,53	0,25	0,16	-0,13	0,11	0,92**	-0,82*	0,66	-0,54	0,91*
1-2 mm	0,50	-0,41	-0,51	0,29	-0,35	-0,41	-0,39	0,40	0,43	0,02	-0,16	0,61
0,5-1 mm	0,05	0,32	-0,39	0,31	0,45	0,19	0,35	0,10	-0,28	0,42	-0,68	0,30
0,25-0,5 mm	0,31	-0,74°	0,14	-0,30	-0,30	-0,87**	0,51	0,36	-0,67	0,13	-0,44	0,08
Perímetro												
2-4 mm	-0,56	0,56	0,21	0,40	0,60	0,63°	0,24	0,70	-0,52	0,77°	-0,77°	0,91*
1-2 mm	0,12	0,08	-0,45	0,45	-0,37	0,06	-0,47	0,27	0,50	0,06	-0,23	0,50
0,5-1 mm	0,03	0,32	-0,40	0,39	0,39	0,21	0,35	0,01	-0,20	0,26	-0,59	0,15
0,25-0,5 mm	0,22	-0,65°	0,13	-0,25	-0,34	-0,77*	0,44	0,14	-0,53	0,12	-0,35	0,04
Alongamento												
2-4 mm	-0,67°	0,42	0,68°	0,01	0,37	0,50	0,10	0,45	-0,41	-0,56	0,64	-0,20
1-2 mm	-0,30	0,48	0,22	0,10	0,34	0,42	0,55	0,54	-0,32	0,46	0,39	0,49
0,5-1 mm	0,13	-0,53	-0,59	-0,11	0,45	-0,64°	-0,28	0,03	0,46	0,02	0,68	0,10
0,25-0,5 mm	-0,78*	0,46	0,05	0,09	0,01	0,38	0,17	0,50	-0,18	0,03	0,11	0,32
Arredondamento												
2-4 mm	0,70°	-0,64°	-0,37	-0,35	-0,53	-0,71*	-0,31	0,11	-0,28	-0,46	0,62	-0,33
1-2 mm	0,56	-0,57	0,02	-0,42	0,08	-0,60	0,62	0,08	-0,77°	0,33	0,30	-0,22
0,5-1 mm	0,12	-0,64°	0,07	-0,48	0,08	-0,60	-0,21	0,40	0,02	0,02	0,41	0,12
0,25-0,5 mm	0,06	0,33	-0,16	0,35	0,32	0,34	0,06	0,84*	-0,59	0,33	0,34	0,68
Diâmetro de Feret												
2-4 mm	0,36	-0,20	-0,50	-0,35	-0,54	-0,71*	0,16	0,87°	-0,79°	0,75°	-0,60	0,94**
1-2 mm	0,52	-0,33	-0,32	0,09	-0,27	-0,35	-0,36	0,37	0,46	0,06	-0,12	-0,22
0,5-1 mm	0,02	0,33	-0,38	0,30	0,49	0,20	0,39	0,07	-0,23	0,42	-0,66	0,30
0,25-0,5 mm	0,30	-0,73*	-0,17	-0,25	-0,28	-0,87**	0,50	0,35	-0,66	0,13	-0,45	0,08
Compacidade												
2-4 mm	0,74*	-0,14	-0,50	0,03	0,02	-0,24	0,01	0,65	-0,51	0,76°	-0,75°	0,88*
1-2 mm	0,31	0,04	-0,43	0,61	-0,81*	0,10	-0,72	-0,24	-0,25	0,74°	-0,43	-0,23
0,5-1 mm	0,18	0,54	-0,40	0,60	0,29	0,44	0,33	0,27	-0,47	0,08	-0,60	0,03
0,25-0,5 mm	0,30	-0,77*	-0,19	0,23	-0,40	-0,90**	0,34	-0,18	0,10	0,36	-0,57	0,05

(1) Ct: caulinita, Gb: gibbsita, Gt: goethita, Hm: hematita, Am: quantidade de mineral de baixa cristalinidade extraída pelo oxalato de amônio, Ox. total: total dos óxidos cristalinos (Gb + Gt + Hm) (Melo et al., 2008). °, *, ** coeficientes de correlação (r) significativos a 0,1; 0,05; e 0,01, respectivamente, pelo teste t. Para o LBd foram analisadas oito observações (quatro perfis x dois horizontes) e para o LVdf apenas seis (três perfis x dois horizontes).

1,0 indicam agregados mais esféricos). Para as classes de 2-4 e 0,25-0,5 mm, o maior teor de caulinita nos horizontes do LBd contribuiu para melhor ajuste dos cristais desse mineral, induzindo ao crescimento da estrutura preferencialmente em uma direção (correlações negativas e significativas entre teor de caulinita e alongamento para essas classes – Quadro 8).

Os agregados apresentaram rugosidade (valores de arredondamento menores que 1 – Quadros 4 a 7), o que contribuiu para aumentar sua superfície externa. O grau de arredondamento aumentou significativamente com a diminuição da classe dos agregados para ambos os solos e horizontes, ou seja, agregados menores tendem a ser mais esféricos e arredondados. Especificamente para a classe de 2-4 mm dos horizontes do

LBd, além do aparente efeito da caulinita em tornar os agregados mais poliedrais, os horizontes com maior teor do mineral na fração argila apresentaram maior grau de arredondamento, ou seja, menor rugosidade da superfície ($r = 0,70^\circ$ – Quadro 8). Por outro lado, obteve-se correlação negativa entre os teores de óxidos de Fe e Al cristalinos e o grau de arredondamento para a classe de agregados de 2–4 mm do LBd (Quadro 8). Provavelmente, o formato mais isodimensional da hematita, goethita e gibbsita (Schwertmann & Kämpf, 1985; Melo et al., 2001b) favoreceu o incremento da rugosidade dessa classe de agregados.

Devido à alta interdependência do diâmetro de Feret (DF) com a área dos agregados (r entre DF e área e perímetro = $0,98^{***}$ e $0,99^{***}$, respectivamente), observou-se o mesmo comportamento para as características dos agregados (Quadros 4 a 7) e suas correlações com os teores dos minerais (Quadro 8), em relação às variáveis área e perímetro.

O efeito mais expressivo dos óxidos de Fe e Al de baixa cristalinidade foi reduzir a compacidade dos agregados da classe de 1-2 mm dos horizontes do LBd ($r = -0,81^*$ - Quadro 8), em que o valor máximo de 1,0 significa que o agregado é perfeitamente circular. O baixo efeito dos minerais de menor cristalinidade na morfologia dos agregados pode ser atribuído aos seus reduzidos teores na fração argila dos agregados (Quadro 1). Esse mesmo efeito foi observado na classe de agregados de 0,25–0,5 mm dos horizontes do LBd para os óxidos cristalinos (gibbsita + goethita + hematita). Comportamento oposto foi verificado para a caulinita para a classe de 2–4 mm, em que o maior teor do mineral na fração argila dos horizontes do LBd tornou os agregados mais circulares.

Para um determinado atributo morfológico (área, perímetro, arredondamento, diâmetro de Feret e compacidade), o efeito dos teores dos minerais da fração argila para apenas algumas classes de agregados (Quadro 8) pode ser atribuído à influência de outros fatores importantes na formação e definição dos agregados do solo: fatores ambientais, manejo do solo, influência da planta e propriedades do solo, como textura, composição mineral, teor de carbono orgânico, processos pedogenéticos, atividade microbiana, íons trocáveis e umidade (Singer et al., 1992; Deneff et al., 2002; Six et al., 2004).

CONCLUSÕES

1. Os agregados dos Latossolos Bruno (LBd) e Vermelho (LVdf) são predominantemente poliedrais e rugosos, o que deve contribuir para aumentar sua superfície externa. Os maiores valores de diâmetro médio geométrico (DMG), área e perímetro dos agregados foram verificados para o LBd, principalmente para o horizonte mais profundo (Bw2). O grau de arredondamento aumentou com a

diminuição da classe de tamanho dos agregados em ambos os solos, ou seja, agregados menores tendem a ser mais esféricos e menos rugosos.

2. A qualidade da fração argila teve efeito não apenas no tamanho dos agregados, mas também na morfologia externa destes. Para algumas classes de tamanho de agregados dos horizontes do LBd e do LVdf, o aumento no DMG e na área, o crescimento preferencial em um eixo (alongamento) e a redução da rugosidade externa dos agregados foram favorecidos pelo maior teor de caulinita na fração argila. Efeito oposto foi observado para os óxidos de Fe e Al.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Professor Elpídio Inácio Fernandes Filho, do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, o apoio na utilização do programa de processamento das imagens.

LITERATURA CITADA

- DENEFF, K.; SIX, J.; MERCKX, R. & PAUSTIAN, K. Short-term effects of biological and physical forces on aggregates formation in soil with different clay mineralogy. *Plant Soil*, 246:185-200, 2002.
- EDWARDS, A.P. & BREMMER, J.M. Microaggregates in soils. *J. Soil Sci.*, 18:64-73, 1967.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Serviço de Produção de Informação, 1999. 412p.
- 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.
- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B. & CURTI, 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. & CURTI, 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.
- FONTES, M.P.F.; CAMARGO, O.A. & SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. *Sci. Agric.*, 18:265-271, 2001.
- GHIDIN, A.A.; MELO, V.F.; LIMA, V.C. & LIMA, J.M.J.C. Topossequências de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná. I – Mineralogia da fração argila. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:293-306, 2006a.
- GHIDIN, A.A.; MELO, V.F.; LIMA, V.C. & LIMA, J.M.J.C. Topossequências de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná. II – Relação entre mineralogia da fração argila e propriedades físicas dos solos. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:307-319, 2006b.

- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. Cartas climáticas do Paraná. Londrina, 2000. v.1.0. CD ROOM.
- 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, 1988. Anais. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Serviço Nacional de Levantamento e Classificação do Solo, 1988a. p.153-183.
- KÄMPF, N.; RESENDE, M. & CURTI, N. Iron oxides in Brazilian soils. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP, 8., Curitiba, 1988 Anais. Curitiba, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Universidade Federal do Paraná, 1988b. p.71-77.
- KEMPER, W.D. & ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. Parte 1: Physical and mineralogical methods. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.425-443.
- 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.
- MELO, V.F.; TOLEDO, F.H.; MOURA, R.; LIMA, V.C. & GHIDIN, A.A. Caracterização química e mineralógica de agregados de diferentes classes de tamanho de Latossolos Brunos e Vermelhos localizados no Estado do Paraná. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:67-83, 2008.
- OLSZEWSKI, N.; COSTA L.M.; FERNANDES FILHO, E.I.; RUIZ, H.A.; ALVARENGA, R.C. & CRUZ, J.C. Morfologia de agregados do solo avaliada por meio de análise de imagens. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:901-909, 2004.
- PINHEIRO-DICK, D. & SCHWERTMANN, U. Características químicas, mineralógicas e morfológicas de microagregados de Oxissolos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. Resumos expandidos. Viçosa, MG, 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, Campinas. Anais. Campinas, Fundação Cargill, 1992. p.32-67.
- RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S.B. & CORRÊA, G.F. Pedologia: Base para distinção de ambientes. Viçosa, MG, NEPUT, 1997. 367p.
- SCHNEIDER, A.W. Vulcanismo basáltico da bacia do Paraná: Perfil Foz do Iguaçu - Serra da Esperança. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26., Brasília, 1970. Anais. Brasília, Sociedade Brasileira de Geologia, 1970. p.211-217.
- SCHWERMANN, U. & KAMPF, N. Properties of goethite and hematite in kaolinitic soils of Southern and Central Brazil. *J. Soil Sci.*, 139:344-350, 1985.
- SINGER, M.J.; SOUTHARD, R.J.; WARRINGTON, D.J. & JANITZKY, P. Stability of synthetic sand clay aggregates after wetting and drying cycles. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:1843-1848, 1992.
- SINGH, B. & GILKES, R.J. Properties of soil kaolinites from South-Western Australia. *J. Soil Sci.*, 43:645-667, 1992.
- SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYSE, S. & DENEFF, K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and organic matter dynamics. *Soil Till. Res.*, 79:7-31, 2004.
- WILCOX, C.D.; DOVE, S.B.; MCDAVID, W.D. & GREER, D.B. UTHSCSA image tool: Help on-line. San Antonio, Universidade de San Antonio, 1997. Não Paginado.