

INFLUÊNCIA DA MINERALOGIA DA FRAÇÃO ARGILA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE LATOSSOLOS DA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL⁽¹⁾

M. M. FERREIRA⁽²⁾, B. FERNANDES⁽³⁾ & N. CURI⁽²⁾

RESUMO

Visando avaliar a influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos do sudeste brasileiro, selecionaram-se sete Latossolos, representativos deste grupamento, ocorrentes nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, apresentando distintas feições morfológicas associadas à estrutura do solo. A amostragem dos solos foi efetuada no horizonte B latossólico, sendo retiradas amostras deformadas e indeformadas. No laboratório, foram efetuadas análises químicas, físicas e mineralógicas. Estudos de regressão e correlação levados a efeito com os resultados das diversas caracterizações mostraram que as propriedades físicas associadas à estrutura foram marcadamente influenciadas pela composição mineralógica da fração argila dos Latossolos. O efeito do Al sobre as propriedades físicas estudadas foi mais pronunciado do que o do Fe. Latossolos cauliniticos apresentaram maior densidade do solo, menor estabilidade de agregados em água, menor macroporosidade e menor permeabilidade quando comparados com Latossolos gibbsíticos. A permeabilidade dos Latossolos estudados aumentou com o teor de argila.

Termos de indexação: densidade do solo, estabilidade de agregados, porosidade do solo, infiltração de água.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado apresentada pelo primeiro autor ao Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa - UFV. Trabalho apresentado no XXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Recife (PE), 23-31 de julho de 1989. Recebido para publicação em abril de 1998 e aprovado em janeiro de 1999.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, CEP 37200-000 Lavras (MG). Bolsista do CNPq.

⁽³⁾ *In memoriam.*

SUMMARY: *INFLUENCE OF THE CLAY FRACTION MINERALOGY ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF LATOSOLS (OXISOLS) FROM SOUTHEASTERN BRAZIL*

Aiming to evaluate the influence of the clay fraction mineralogy on the physical properties of Latosols (Oxisols) from southeastern Brazil, seven Latosols, representative of this group, were selected from the states of Minas Gerais and Espírito Santo, having distinct morphological features associated with soil structure. The sampling of soils was performed in the latossolic B horizon, with disturbed and undisturbed samples being collected. Chemical, physical and mineralogical characterizations were performed in the laboratory. Regression and correlation analyses taking into account the results of the various characterizations showed that the physical properties associated with soil structure are markedly influenced by the mineralogical composition of the clay fraction of Latosols. The Al effect on the physical properties was more pronounced than the Fe effect. Kaolinitic Latosols present higher bulk density, lower water aggregate stability, smaller macroporosity and permeability values when compared to gibbsitic Latosols. The permeability of the studied Latosols increases with the clay content.

Index terms: bulk density, aggregates stability, soil porosity, water infiltration.

INTRODUÇÃO

A estrutura do solo é considerada como uma de suas mais importantes propriedades do ponto de vista agrícola. A ela estão relacionadas outras propriedades fundamentais nas relações solo-planta. De acordo com Marcos (1968), o estudo da estruturação do solo no sentido morfológico é puramente descritivo, enquanto, do ponto de vista físico, é funcional. Segundo o autor, embora os agregados sejam separados, sua estabilidade avaliada e sua formação extensamente estudada, não há conhecimento de alguma lei ou princípio comandando a sua formação, tamanho e composição. Tentativa nesta direção foi reportada, entre outros, no trabalho de Harris et al. (1966). Nesse estudo, discutiu-se amplamente a atuação de diversos agentes que controlam a formação, estabilização e degradação de agregados no solo, tendo esses autores apontado Lutz, ainda em 1936, como responsável por um dos primeiros registros da participação dos óxidos de Fe na agregação de solos lateríticos.

Tem-se verificado significativa intensificação nos estudos desta natureza envolvendo óxidos de Fe e de Al, notadamente a partir dos trabalhos de McIntyre (1956), Mehra & Jackson (1960), Norrish & Taylor (1961), Resende (1976), entre outros.

Estudos anteriores desenvolvidos por Deshpande et al. (1968) revelaram que os óxidos de Fe desempenhavam papel de importância secundária na agregação de solos de clima tropical. Por sua vez, Pinheiro-Dick & Schwertmann (1996) e Lima & Anderson (1997) demonstraram a participação efetiva dos óxidos de Fe na agregação de Oxissolos. Mais recentemente, Muggler (1998) comprovou que

o modo de formação e a mineralogia dos compostos de Fe determinam seu eventual efeito na agregação desses solos. Quanto aos óxidos de Al, o predomínio de gibbsita na fração argila de Latossolos favorece maior agregação (Silva et al., 1998), conseqüência da manutenção da estrutura microgranular nesses solos, resultando em elevados valores de permeabilidade (Resende et al., 1998).

Conforme Deshpande et al. (1968), os óxidos de Fe ocorrem predominantemente como partículas discretas, as quais seriam ineficientes como agentes cimentantes. Posteriormente, Schwertmann & Kämpf (1985), estudando as propriedades desses óxidos (goethita e hematita) em solos cauliniticos do Brasil Central e da região Sul, observaram que esses se agregam mutuamente, ao invés de recobrirem a estrutura da caulinita. Do mesmo modo que Deshpande et al. (1968), também Schwertmann & Kämpf (1985) não concordam com a opinião amplamente difundida de que o revestimento da caulinita pela hematita e goethita seja a causa para a forte agregação encontrada nos solos tropicais e subtropicais. Mais recentemente, Pinheiro-Dick & Schwertmann (1996) relataram que, em Oxissolos, hematita e goethita formam microagregados homogêneos com gibbsita, caulinita e quartzo.

Diante desta exposição, verifica-se que, embora o volume de informações a respeito desses componentes nos dias atuais seja expressivo, não existe uma teoria única sobre seus efeitos na estabilização da estrutura do solo. Assim, busca-se no presente estudo avaliar a participação dos constituintes mineralógicos da fração argila no comportamento de propriedades físicas de Latossolos ocorrentes na região Sudeste do Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se amostras deformadas e indeformadas da porção superior do horizonte Bw de sete Latossolos de Minas Gerais e Espírito Santo, relacionados no quadro 1. A seleção desses solos se efetuou, preliminarmente, fazendo-se consultas aos boletins do Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solos - EMBRAPA (EMBRAPA, 1978; 1980).

As diversas amostras foram submetidas a análises químicas, físicas e mineralógicas. Algumas informações relativas a tais caracterizações, que não foram levadas em consideração no presente estudo, podem ser encontradas em Ferreira (1988).

Na caracterização química dos solos, foram determinadas as formas de Fe e Al extraídos na TFSA pelo ataque sulfúrico, segundo Vettori (1969) e EMBRAPA (1979). Ferro (Fe_d) e alumínio (Al_d) foram determinados na fração argila, com solução de ditonito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB), de acordo com Mehra & Jackson (1960). As formas de ferro (Fe_o) e alumínio (Al_o) de baixa cristalinidade foram determinadas, também na fração argila, com solução de oxalato de amônio ácido, conforme Schwertmann (1964).

Na caracterização mineralógica, caulinita e gibbsita foram quantificadas, na fração argila desferrificada, por meio de análise térmica diferencial. Goethita e hematita foram determinadas, na fração argila concentrada com NaOH 5 mol L⁻¹, de acordo com Kämpf & Schwertmann (1982) e Resende et al. (1987), com base em difratogramas obtidos em aparelho de raios-X munido com tubo de cobre, pelo método do pó.

Na caracterização física dos solos, foram utilizadas amostras deformadas e indeformadas, estas últimas coletadas em tubos de PVC, empregando-se método semelhante ao descrito por Mielke (1973).

Na análise granulométrica, a dispersão foi efetuada mecânica (agitação rápida) e quimicamente (NaOH 0,5 mol L⁻¹), ao passo que, na determinação da argila dispersa em água, utilizaram-se a dispersão mecânica e a água destilada. Empregou-se o método da pipeta (Day, 1965) para as determinações de silte e argila e tamisagem para a areia. O índice de floculação foi calculado por meio da expressão: I.F. % = [(Argila Total - Argila Dispersa em Água)/Argila Total] x 100.

A densidade do solo foi determinada em amostras indeformadas, dividindo-se o peso seco em estufa (105-110°C) do material contido no tubo de PVC pelo seu respectivo volume.

A estabilidade de agregados foi avaliada por peneiramento úmido e seco. As amostras para essa determinação consistiram de blocos de solo com estrutura natural. Uma vez secos ao ar, os blocos foram peneirados manualmente em peneiras de malhas de 9,52 e 4,76 mm. Foram empregados nas análises aqueles agregados retidos na peneira de 4,76 mm. Na análise da estabilidade pelo peneiramento úmido, os agregados foram submetidos ao pré-umedecimento lento por meio de atomização com água destilada. Duas horas após permanecerem em dessecador com atmosfera saturada, os agregados foram agitados, durante 15 min, em jogo de peneiras com malhas de 2,0; 1,0; 0,5 e 0,105 mm, dentro de recipiente que continha água, conforme posição

Quadro 1. Classificação, cor, estrutura, unidades litológicas e localização dos Latossolos estudados

Ordem	Classificação	Cor úmida	Macroestrutura	Unidade litoestratigráfica	Localização
1	Latossolo Vermelho-Escuro distrófico (LEd) textura muito argilosa	2,5YR 4/6	Muito pequena, blocos subangulares	Grupo Canastra	Sacramento (MG)
2	Latossolo Roxo distrófico (LRd) textura argilosa	10,0R 3/4	Muito pequena, granular	Formação Mata da Corda	Patos de Minas (MG)
3	Latossolo Vermelho-Escuro distrófico (LEd) textura argilosa	2,5YR 3/6	Muito pequena, granular	Grupo Bambuí	Rio Paranaíba (MG)
4	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVd) textura argilosa	2,5Y 6/4	Pequena, blocos subangulares	Formação Urucuia	São Gotardo (MG)
5	Latossolo Amarelo álico (LAa) textura argilosa	10,0YR 5/6	Pequena, blocos subangulares	Grupo Barreiras	Marataízes (ES)
6	Latossolo Vermelho-Escuro distrófico (LEd) textura muito argilosa	10,0R 3/6	Muito pequena, granular	Complexo Granito-Gnaiss	Lavras (MG)
7	Latossolo Una distrófico (LUd) textura muito argilosa	5,0YR 4/6	Pequena, blocos subangulares	Complexo Granito-Gnaiss	Viçosa (MG)

de Yoder (1936). Na análise da estabilidade pelo peneiramento seco, os agregados, secos ao ar, foram agitados, durante 15 min, no mesmo jogo de peneiras anterior, em aparelho de movimento vibratório. Nas duas situações, adotou-se como índice de estabilidade o Diâmetro Médio Geométrico (DMG), de acordo com Mazurack (1950).

Para determinar a distribuição de poros por tamanho e permeabilidade, utilizaram-se também amostras indeformadas. Na distribuição dos diâmetros dos poros, foram utilizados o modelo capilar e as colunas de água de 20, 40, 60 e 100 cm. Empregou-se o método do funil (Bouma, 1973). A equação utilizada foi:

$$D = 4\gamma/d.h.g$$

em que D = diâmetro dos poros em cm; γ = tensão superficial da água em dina cm^{-1} ; d = densidade da água em g cm^{-3} ; h = altura da coluna de água em cm, e g = aceleração devida à gravidade em cm s^{-2} .

A condutividade hidráulica do solo saturado foi avaliada, conforme Fernandes et al. (1983), por meio de um sistema ajustável de permeômetros com uma lâmina de água constante igual a 2 cm. Foram tomados cuidados especiais para evitar percolação de água ao longo da parede interna do tubo. As amostras foram submetidas a um pré-umedecimento muito lento, por capilaridade, durante 24 h que antecederam as observações, a fim de expulsar o ar do solo contido no tubo de PVC. As leituras do volume percolado foram feitas de hora em hora, durante sete horas consecutivas. Para calcular a condutividade hidráulica, utilizou-se a equação de Darcy:

$$K_s = Q/At \cdot L/H$$

em que K_s = condutividade hidráulica do solo saturado, em cm h^{-1} ; Q = volume de água percolada no tempo t, em cm^3 ; A = área da secção transversal do tubo, em cm^2 ; H = carga hidráulica total, em cm, e L = comprimento da coluna de solo, em cm.

Com base nos resultados das diversas caracterizações, realizaram-se análises estatísticas de regressão e correlação, utilizando-se o Sistema para Análises Estatísticas (SAEG) da Central de Processamento de Dados da UFV. Todas as determinações foram feitas com cinco repetições.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As formas de Fe e Al extraídos pelo DCB e oxalato de amônio nos diferentes Latossolos estudados encontram-se no quadro 2. Observa-se que os diferentes solos apresentaram contrastes acentuados em suas composições químicas, ressaltando-se as amplitudes nos teores de Fe_2O_3 ($43\text{-}303 \text{ g kg}^{-1}$) e nos valores da relação Ki, que variaram de 0,26 a 2,15. Valores da relação $K_i \leq 0,75$ (solos 1 a 4) têm-se correlacionado com mineralogia gibbsítica, enquanto valores $> 0,75$ (solos 5 a 7) são indicativos de mineralogia caulinitica em Latossolos (Resende & Santana, 1988). Neste contexto, apenas o solo 6 fugiu da tendência. Com relação às extrações com DCB e oxalato de amônio ácido, no caso do Fe, os resultados seguiram a mesma tendência do ataque sulfúrico, com a solução DCB apresentando maior extração que a solução de oxalato de amônio. Com relação à mineralogia dos solos, observa-se, no quadro 3, serem eles predominantemente gibbsíticos sesquioxídicos, constituindo exceções os solos 5 (LAa) e 7 (LUd), que são cauliniticos. Essa mineralogia diferencial está relacionada com a macroestrutura predominantemente granular no primeiro conjunto de solos (1,2,3,4 e 6) e essencialmente em blocos subangulares no segundo conjunto (solos 5 e 7). Nota-se, ainda no quadro 3, que a goethita foi o óxido de Fe predominante.

Os baixos teores de óxidos de Fe do ataque sulfúrico dos solos 4 e 5 estão relacionados com os arenitos da Formação Urucua e com os sedimentos pobres em Fe do Grupo Barreiras, respectivamente

Quadro 2. Óxidos do ataque sulfúrico, Fe e Al extraídos pelo DCB e oxalato de amônio de amostras do horizonte Bw dos Latossolos estudados

Solo	Ataque pelo H_2SO_4 (densidade = 1,47)					$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Ki)	$\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ (Kr)	Fe_d	Fe_o	Al_d	Al_o
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5						
	g kg^{-1}							g kg^{-1}			
1 LEd	139	388	148	16	1	0,60	0,49	71	3	23	10
2 LRd	69	278	303	35	4	0,42	0,25	121	19	17	12
3 LEd	81	387	173	10	1	0,35	0,27	80	6	21	12
4 LVd	51	323	46	32	1	0,26	0,24	15	2	7	14
5 LAa	204	161	43	11	0	2,15	1,84	40	2	8	2
6 LEd	210	326	132	16	1	1,09	0,87	67	4	17	8
7 LUd	218	216	134	18	1	1,71	1,29	58	3	16	3

(Quadro 1). A ampla predominância de goethita em relação à hematita (Quadro 3) e o fato de serem goethitas altamente aluminosas (dados não apresentados) ajudam a explicar as relativamente baixas taxas de $\text{Fe}_2\text{O}_{3(d)}/\text{Fe}_2\text{O}_{3(\text{H}_2\text{SO}_4)}$ (Norrish & Taylor, 1961; Curi & Franzmeier, 1984) em relação àquelas obtidas por Dick & Kämpf (1988) em outros Latossolos brasileiros.

Os resultados da caracterização física dos diferentes solos encontram-se nos quadros 4 a 6. Observando o quadro 4, percebe-se que os Latossolos estudados apresentaram classe textural argila arenosa (5), argila (2, 3 e 4) e muito argilosa (1, 6 e 7). Os teores de silte variaram de 30 (5) a 380 g kg^{-1} (3) e as frações areia fina e areia grossa complementaram reciprocamente a distribuição das partículas minerais. A argila dispersa em água apresentou expressiva amplitude de variação entre os solos (0-250 g kg^{-1}).

Com relação à densidade do solo, verifica-se que seus valores variaram de 0,91 (solo 3 - gibbsítico) a

1,55 g cm^{-3} (solo 5 - caulínítico). Esse valor muito mais elevado no Latossolo Amarelo se sobressaiu em relação aos demais, constituindo feição típica dessa classe coesa de solo (Jacomine, 1996). Valores de densidade do solo mais baixos para Latossolos gibbsíticos e mais altos para Latossolos caulíníticos têm sido reportados na literatura (Silva et al., 1995, 1998; Muggler et al., 1996; Chagas et al., 1997; Resende et al., 1999). A estabilidade dos agregados dos diferentes Latossolos, avaliada pelos métodos do peneiramento úmido e seco, está representada no quadro 4 pelos valores de diâmetro médio geométrico (DMG). Verifica-se, a exemplo do que ocorreu com a Ds, que a estabilidade dos agregados também variou sobremaneira nos diferentes Latossolos, independentemente do método de avaliação, sendo digno de registro o valor muito mais baixo de DMG (água) no Latossolo Amarelo coeso, atributo distintivo dessa classe de Latossolo.

A porosidade total e a distribuição de poros por tamanho são apresentadas no quadro 5. Observa-se que os diferentes Latossolos revelaram grande variabilidade no que diz respeito à distribuição de seus poros. Percebe-se que a porosidade total variou de 0,431 no solo 5 a 0,667 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ no solo 3. O Latossolo Amarelo coeso (solo 5), além de revelar menor porosidade total, apresentou também o menor valor para a macroporosidade, em consonância com a sua gênese. Avaliando a distribuição de poros por tamanho, observou-se maior variabilidade entre os Latossolos na classe dos macroporos, os quais, em última análise, determinam a taxa de movimentação da água no solo. Nesse conjunto de poros, o solo 6 (gibbsítico) destacou-se por apresentar a maior macroporosidade (0,289 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), e o solo 5, a menor macroporosidade (0,131 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$). Esses resultados corroboram aqueles obtidos por Chagas et al. (1997) e Silva & Ribeiro (1997).

Os valores de condutividade hidráulica do solo saturado (Ks) dos diferentes solos são apresentados

Quadro 3. Teores de caulinita, gibbsita, goethita e hematita da fração argila do horizonte Bw dos Latossolos estudados

Solo	Caulinita	Gibbsita	Goethita	Hematita
1 LEd	192	661	135	12
2 LRd	5	803	34	158
3 LEd	5	853	92	50
4 LVd	54	918	28	0
5 LAa	883	38	79	0
6 LEd	339	538	77	46
7 LUd	814	80	93	13

Quadro 4. Distribuição de partículas por tamanho, argila dispersa em água, índice de floculação, densidade do solo e diâmetro médio geométrico dos agregados do horizonte Bw dos Latossolos estudados

Solo	Granulometria				Argila dispersa em água	Índice de floculação	Densidade do solo	Diâmetro médio geométrico (DMG)	
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila				Água	Seco
1 LEd	20	60	280	640	210	67	1,04	5,19	4,58
2 LRd	50	50	360	540	150	72	1,06	4,78	2,49
3 LEd	10	20	380	590	80	86	0,91	4,52	1,14
4 LVd	160	170	160	510	140	72	1,09	4,49	2,11
5 LAa	370	100	30	500	250	50	1,55	0,71	2,68
6 LEd	40	80	100	780	220	72	0,94	3,11	2,95
7 LUd	210	80	80	630	0	100	1,14	2,38	3,80

no quadro 6. Percebe-se, de imediato, uma elevada variabilidade da condutividade hidráulica dos diferentes solos, com relativamente grande estabilidade dos sistemas frente à passagem da água. O solo 5 (caulinítico), considerando sua alta Ds, baixa porosidade total e macroporosidade, além de alta coesão (observada no campo), apresentou o menor valor de Ks (1,4 cm h⁻¹), feição característica dessa classe de Latossolo, sem muita ligação com seu teor de argila (Oliveira et al., 1992). Observa-se, ainda no quadro 6, que o solo 6, com 780 g kg⁻¹ de argila, apresentou o maior valor de Ks (61,9 cm h⁻¹). Esses resultados corroboram as observações de Fernandes et al. (1978), Resende (1985) e Silva & Ribeiro (1997). De acordo com Fernandes et al. (1978), a condutividade hidráulica do solo acha-se mais bem relacionada com o volume de poros com diâmetro maior que 0,07 mm. Segundo Resende (1985) e Resende et al. (1999), os Latossolos, mesmo quando muito argilosos, podem apresentar grande permeabilidade, em decorrência da estrutura granular muito pequena e muito bem expressa. Os aspectos relativos à estrutura dos diferentes Latossolos são discutidos em Ferreira et al. (1999).

Os coeficientes das análises de correlações envolvendo os resultados da caracterização física e os oriundos das caracterizações químicas e mineralógicas são apresentados no quadro 7. Inicialmente, percebem-se correlações significativas entre as propriedades físicas estudadas e os teores de Al₂O₃ do ataque sulfúrico, Al extraído pela solução de oxalato de amônio (Al₀), caulinita, gibbsita e teores de argila. Esses resultados demonstram a importância do Al no comportamento das propriedades físicas associadas à estrutura dos Latossolos e vão de encontro com os reportados por Saini et al. (1966) e Deshpande et al. (1968). Os resultados das correlações mostraram que os valores de Ds variaram diretamente com os teores de caulinita e inversamente com os teores de gibbsita. A figura 1 ilustra a relação entre Ds e teores de caulinita dos Latossolos estudados. Esse comportamento da Ds foi determinado pelo desenvolvimento estrutural desses solos, conforme demonstrado por Ferreira et al. (1999). Os Latossolos cauliníticos, em razão do ajuste face a face das placas de caulinita, desenvolvem um plasma denso, que lhes confere valores mais elevados de Ds. Assim sendo,

Quadro 5. Distribuição de poros por tamanho no horizonte Bw dos diferentes Latossolos estudados

Solo	Diâmetro dos poros (mm)					Total de poros	Macroporos ⁽¹⁾	Microporos
	> 0,15	0,15-0,07	0,07-0,05	0,05-0,03	< 0,03			
	m ³ m ⁻³							
1 LEd	0,082	0,085	0,059	0,042	0,348	0,616	0,226	0,390
2 LRd	0,063	0,044	0,082	0,088	0,383	0,660	0,189	0,471
3 LEd	0,063	0,081	0,089	0,071	0,363	0,667	0,233	0,434
4 LVd	0,098	0,068	0,056	0,056	0,315	0,593	0,222	0,371
5 LAa	0,059	0,055	0,017	0,021	0,279	0,431	0,131	0,300
6 LEd	0,109	0,111	0,069	0,046	0,325	0,660	0,289	0,371
7 LUD	0,074	0,067	0,031	0,026	0,387	0,585	0,172	0,413

⁽¹⁾ Considerou-se 0,05 mm como limite do diâmetro para separação de macro e microporos.

Quadro 6. Condutividade hidráulica do solo saturado (Ks) no horizonte Bw dos diferentes Latossolos estudados

Solo	Condutividade hidráulica - Ks							
	1ª hora	2ª hora	3ª hora	4ª hora	5ª hora	6ª hora	7ª hora	Média
	cm h ⁻¹							
1 LEd	20,5	20,8	20,4	20,5	19,7	19,0	18,8	19,9
2 LRd	23,6	23,9	24,5	24,5	24,1	23,6	24,3	24,1
3 LEd	24,8	24,5	24,5	24,4	23,6	23,2	23,1	24,0
4 LVd	28,7	30,3	31,1	31,0	31,1	30,0	29,2	30,2
5 LAa	1,9	1,7	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,4
6 LEd	67,5	66,1	65,6	63,9	59,4	56,5	54,6	61,9
7 LUD	8,9	8,8	8,0	7,6	7,2	7,1	7,1	7,8

aos maiores teores de caulinita corresponderão Latossolos com os maiores valores de Ds. O contrário ocorrerá com os Latossolos gibbsíticos.

Com respeito aos resultados da estabilidade dos agregados (Quadro 7), observam-se dois comportamentos distintos. A análise efetuada pelo método do peneiramento seco não revelou qualquer associação entre o DMG (seco) e os componentes das caracterizações químicas e mineralógicas. Entretanto, o método do peneiramento úmido revelou, inicialmente, um aspecto já discutido envolvendo a participação do Al. Notou-se correlação positiva significativa entre DMG (água) e teores de Al₂O₃ do ataque sulfúrico e do Al extraído pela solução de oxalato de amônio (Al_o). Finalmente, observa-se que o DMG (água) correlacionou-se negativamente com os teores de caulinita e positivamente com os teores de gibbsita. A relação

entre DMG (água) e os teores de caulinita é ilustrada na figura 2. Os resultados aqui obtidos revelaram diferentes graus de estabilidade de agregados dentro do grupamento de Latossolos estudados, decrescendo esta estabilidade com o aumento do teor de caulinita. Assim, esses resultados podem ser considerados como a chave para o entendimento do comportamento antagônico da estabilidade dos agregados dos solos de clima tropical em relação aos solos de clima temperado. É sabido que os solos de clima temperado apresentam menor estabilidade de agregados que os solos de clima tropical, notadamente os Latossolos. A razão desse comportamento está evidenciada pela maior proporção de argila silicatada naqueles solos em relação aos óxidos de Fe e de Al. Segundo os resultados do presente estudo, a maior estabilidade dos agregados desses Latossolos foi devida aos óxidos de Al (gibbsita).

Quadro 7. Coeficientes das análises de correlações simples envolvendo os resultados das caracterizações físicas, químicas e mineralógicas do horizonte Bw dos Latossolos estudados

	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe _d	Al _d	Fe _o	Al _o	Caulinita	Gibbsita	Goethita	Hematita	Argila
Ds	-0,49	-0,84**	-0,39	-0,67	-0,25	-0,65	0,74*	-0,70	-0,05	-0,34	-0,56
DMG (água)	0,52	0,85**	0,39	0,57	0,38	0,89**	-0,92**	0,89**	0,39	-0,04	0,07
DMG (seco)	-0,04	0,10	0,00	0,27	-0,23	-0,43	0,40	0,43	-0,57	-0,26	0,36
Macroporos	0,13	0,79*	0,10	0,45	-0,05	0,52	-0,59	0,59	0,07	0,08	0,72*
Ks	0,13	0,53	0,11	0,21	0,08	0,41	-0,48	0,49	0,22	0,20	0,69*

*, ** significativos a 5 e 1%, pelo teste t, respectivamente.

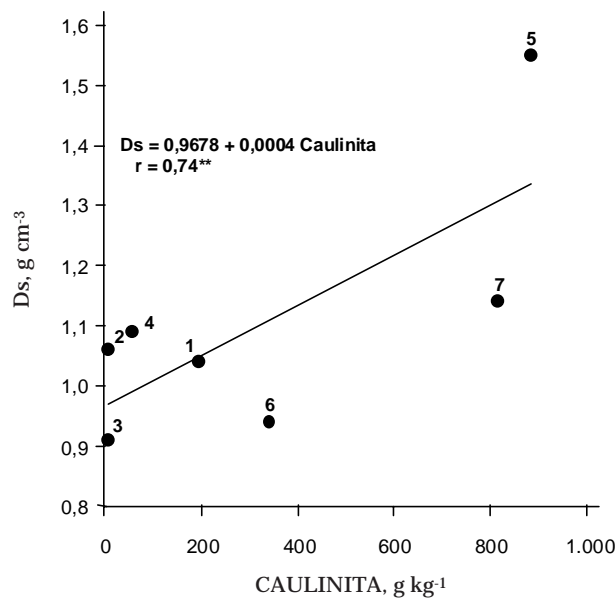


Figura 1. Relação entre densidade do solo (Ds) e teor de caulinita do horizonte Bw dos diferentes Latossolos estudados.

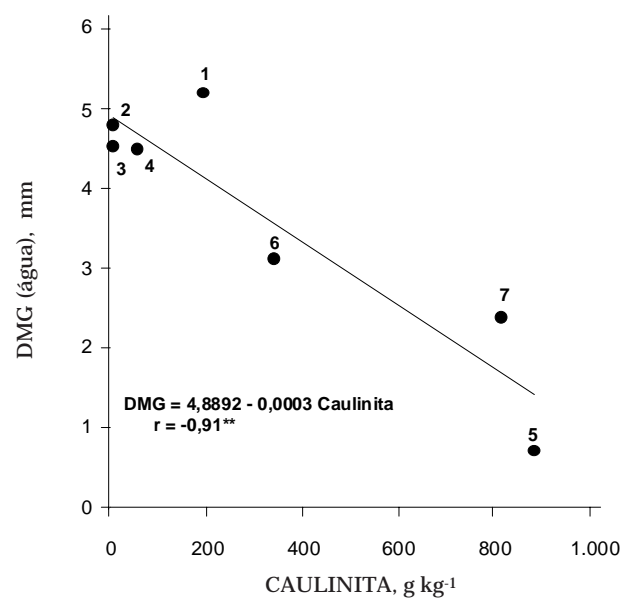


Figura 2. Relação entre diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados e teor de caulinita do horizonte Bw dos diferentes Latossolos estudados.

Observa-se, ainda no quadro 7, que o teor de macroporos dos Latossolos correlacionou-se positiva e significativamente com o teor de Al_2O_3 do ataque sulfúrico e com o teor de argila, enquanto K_s correlacionou-se positiva e significativamente apenas com o teor de argila. Embora não-significativos, os coeficientes das correlações envolvendo os teores de caulinita e gibbsita foram relativamente elevados e apresentaram a mesma magnitude, todavia, com sinais opostos. Destacam-se, no quadro 7, alguns aspectos interessantes. Inicialmente, percebe-se que, dos constituintes mineralógicos, caulinita e gibbsita foram os que melhor se associaram à macroporosidade e à condutividade hidráulica dos Latossolos estudados. Contudo, os relacionamentos foram antagônicos, ou seja, enquanto a presença da gibbsita contribuiu para maior macroporosidade e maior condutividade hidráulica, a presença da caulinita atuou em sentido contrário (Figura 3). Tanto o teor de macroporos quanto o valor de K_s mostraram-se diretamente relacionados com o conteúdo de argila dos Latossolos.

Associando agora os resultados encontrados no presente estudo às afirmativas feitas por diversos autores, notadamente Resende et al. (1997), torna-se razoável admitir que, quanto mais argiloso for o Latossolo, maior será sua permeabilidade (Figura 4). Deve-se ressaltar, entretanto, que o Latossolo Amarelo em razão da sua coesão e da grande variabilidade de seu material de origem (sedimentos do Grupo Barreiras) poderá constituir exceção a essa admissão, suscitando futuros estudos que analisem maior número de exemplares dessa classe de solo.

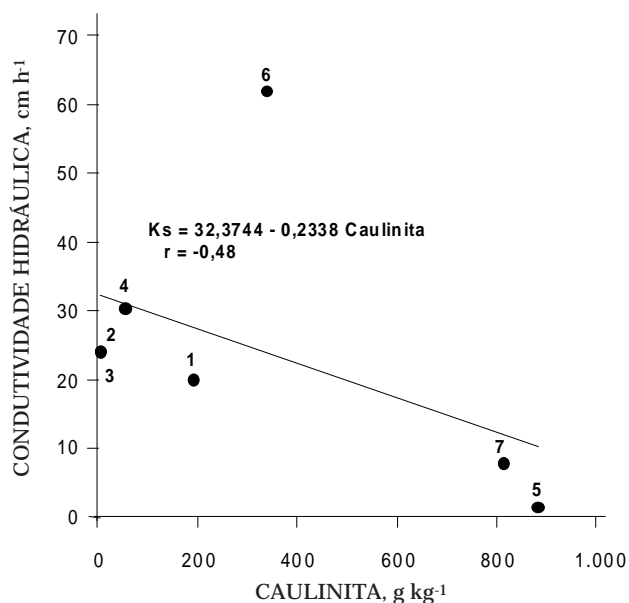


Figura 3. Relação entre condutividade hidráulica (K_s) do solo e teor de caulinita do horizonte Bw dos diferentes Latossolos estudados.

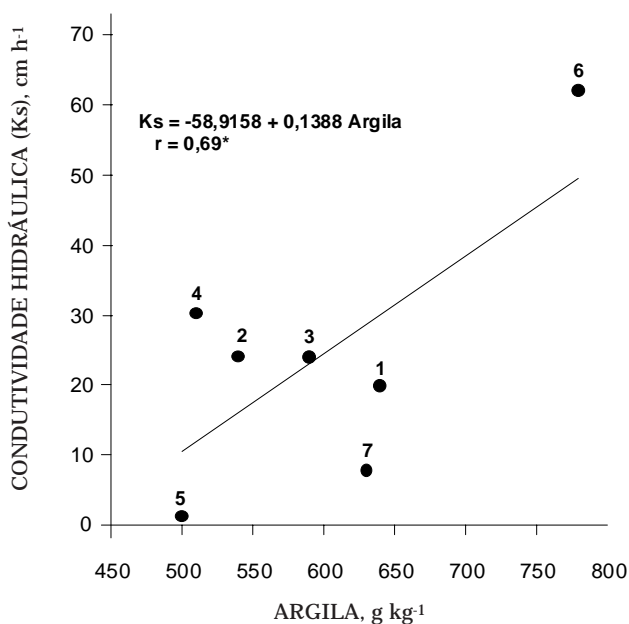


Figura 4. Relação entre condutividade hidráulica (K_s) do solo e teor de argila do horizonte Bw dos diferentes Latossolos estudados.

CONCLUSÕES

1. A influência do Al sobre as propriedades físicas associadas à estrutura dos Latossolos estudados foi mais pronunciada que a do Fe.
2. Caulinita e gibbsita foram os constituintes mineralógicos que maior influência exerceram sobre as propriedades físicas estudadas dos Latossolos da região Sudeste do Brasil.
3. Latossolos cauliniticos apresentaram maior densidade do solo, menor estabilidade de agregados em água, menor macroporosidade e menor permeabilidade, quando comparados a Latossolos gibbsíticos.
4. A permeabilidade dos Latossolos estudados aumentou com o teor de argila.

LITERATURA CITADA

- BOUMA, J. Guide to the study of water movement in soil pedons above the watertable. Madison, University of Wisconsin, 1973. 194p.
- CHAGAS, C.S.; CURTI, 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.
- CURTI, N. & FRANZMEIER, D.P. Toposequence of Oxisols from the Central Plateau of Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:341-346, 1984.

- DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis. Physical and mineralogical properties including statistics of measurement and sampling. Part 1.* Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.545-567.
- DESHPANDE, T.L.; GREENLAND, D.J. & QUIRK, J.P. Changes in soil properties associated with the removal of iron and aluminium oxides. *J. Soil Sci.*, 19:108-122, 1968.
- DICK, D.P. & KÄMPF, N. Comparação da extração de ferro com HCl 6N, H₂SO₄ 1:1 e ditionito-citrato-bicarbonato de sódio em horizontes B-latossólicos. *R. Bras. Ci. Solo*, 12:185-188, 1988.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Espírito Santo. Rio de Janeiro, 1978. 461p. (Boletim Técnico, 45)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979. não paginado.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Estudo expedito de solos da região do Alto Paranaíba, para fins de classificação, correlação e legenda preliminar. Rio de Janeiro, 1980. 84p. (Boletim Técnico, 64)
- FERNANDES, B.; RESENDE, M. & REZENDE, S.B. Caracterização de alguns solos sob cerrado e disponibilidade de água para as culturas. *Experientiae*, 24:209-260, 1978.
- FERNANDES, B.; GALLOWAY, H.M.; BRONSON, R.D. & MANNERING, J.V. Condutividade hidráulica do solo saturado, em três sistemas de manejo. *R. Ceres*, 30:232-241, 1983.
- FERREIRA, M.M. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos brasileiros. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1988. 79p. (Tese de Doutorado)
- 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, 1999.
- HARRIS, R.F.; CHESTER, G. & ALLEN, O.N. Dynamics of soil aggregation. *Adv. Agron.*, 18:107-169, 1966.
- JACOMINE, P.K.T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Cruz das Almas, 1996. Anais. Aracaju, EMBRAPA-CPATC/EMBRAPA-CNPMF/EAUFBA/IGUFBA, 1996. p.13-26.
- KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. The 5M NaOH concentration treatment for iron oxides in soils. *Clays Clay Miner.*, 30:401-408, 1982.
- LIMA, J.M. & ANDERSON, S.J. Aggregation and aggregate size effects on extractable iron and aluminum in two Hapludoxs. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:965-970, 1997.
- MARCOS, Z.Z. Estrutura, agregação e água do solo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, 1968. 55p. (Tese de Doutorado)
- MAZURACK, A.P. Effect of gaseous phase on water-stable synthetic aggregates. *Soil Sci.*, 69:135-148, 1950.
- McINTYRE, D.S. The effect of free ferric oxide on the structure of some terra rossa and rendzina soils. *J. Soil Sci.*, 7:302-306, 1956.
- MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate-bicarbonate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Miner.*, 7:317-327, 1960.
- MIELKE, L.E. Encasing undisturbed soil cores in plastic. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 37:325-326, 1973.
- MUGGLER, C.C.; CURTI, N.; SILVA, M.L.N. & LIMA, J.M. Características pedológicas de ambientes agrícolas nos chapadões do Rio Corrente, sudoeste da Bahia. *Pesq. Agropec. Bras.*, 31:221-232, 1996.
- MUGGLER, C.C. Polygenetic Oxisols on tertiary surfaces, Minas Gerais, Brazil: soil genesis and landscape development. Wageningen, Wageningen Agricultural University, 1998. 186p. (Tese de Doutorado)
- NORRISH, K. & TAYLOR, R.M. The isomorphous replacement of iron by aluminium in soil goethites. *J. Soil Sci.*, 12:294-306, 1961.
- OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.T. & CAMARGO, M.N. Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento. Jaboticabal, FUNEP, 1992. 201p.
- PINHEIRO-DICK, D. & SCHWERTMANN, U. Microaggregates from Oxisols and Inceptisols: dispersion through selective dissolutions and physicochemical treatments. *Geoderma*, 74:49-63, 1996.
- RESENDE, M. Mineralogy, chemistry, morphology and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brazil. West Lafayette, Purdue University, 1976. 237p. (Tese de Doutorado)
- RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. *Inf. Agropec.*, 128:3-18, 1985.
- RESENDE, M.; BAHIA FILHO, A.F.C. & BRAGA, J.M. Mineralogia da argila de Latossolos estimada por alocação a partir do teor de óxidos do ataque sulfúrico. *R. Bras. Ci. Solo*, 11:17-23, 1987.
- RESENDE, M. & SANTANA, D.P. Uso das relações Ki e Kr na estimativa da mineralogia para classificação de Latossolos. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DA APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., Rio de Janeiro, 1988. Anais. Rio de Janeiro, EMBRAPA-SNLCS/SBCS, 1988. p.225-232.
- RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S.B. & CORRÊA, G.F. Pedologia: base para distinção de ambientes. 2.ed. Viçosa, NEPUT, 1997. 367p.
- RESENDE, M.; CURTI, N. & LANI, J.L. Tropical soils: implications on sustainable development. In: SCIENCE for Sustainable Development in Latin America and Caribbean. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1999. não paginado.

- SAINI, G.R.; Mac LEAN, A.A. & DOYLE, J.J. The influence of some physical and chemical properties on soil aggregation and response to VAMA. *Can. J. Soil Sci.*, 46:155-160, 1966.
- SCHWERTMANN, U. Differenzierung der eisenoxyde des bodens durch extraktation mit ammoniumoxalat-Losung. *Z. Pflanzenernahr. Bodenkd.*, 105:195-202, 1964.
- SCHWERTMANN, U. & KÄMPF, N. Properties of goethite and hematite in kaolinitic soils of southern and Central Brazil. *Soil Sci.*, 139:344-350, 1985.
- SILVA, A.J.N. & RIBEIRO, M.R. Caracterização de Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no estado de Alagoas: atributos morfológicos e físicos. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:677-684, 1997.
- SILVA, M.L.N.; CURI, N.; MARQUES, J.J.G.S.M.; LIMA, L.A.; FERREIRA, M.M. & LIMA, J.M. Resistência ao salpico provocado por impacto de gotas de chuva simulada em Latossolos e sua relação com características químicas e mineralógicas. *Ci. Prat.*, 19:176-182, 1995.
- 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.
- VETTORI, L. Métodos de análises de solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7)
- YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and study of the physical nature of erosion losses. *J. Am. Soc. Agron.*, 28:337-351, 1936.