

CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE ARENITOS DA FORMAÇÃO AQUIDAUANA-MS⁽¹⁾

Jolimar Antonio Schiavo⁽²⁾, Marcos Gervásio Pereira⁽³⁾, Luiz Paulo
Montenegro de Miranda⁽⁴⁾, Antonino Hypólito Dias Neto⁽⁵⁾ &
Ademir Fontana⁽⁶⁾

RESUMO

A formação Aquidauana é constituída por um conjunto de sedimentos com até 500 m de espessura, predominando arenito de granulometria fina a média, intercalado com conglomerado arenoso. Nesse ambiente, o relevo é um dos principais fatores condicionantes na formação de solos. Objetivou-se, neste trabalho, caracterizar e classificar os solos desenvolvidos desses arenitos. Para isso, foram estudados quatro perfis ao longo de uma topossequência, de uma pendente representativa das colinas suaves onduladas verificadas na área de estudo. Os perfis localizavam-se no terço superior (P1), terço médio (P2), terço inferior (P3) e sopé de encosta (P4). Eles foram morfológicamente descritos, e os horizontes, caracterizados quanto às propriedades físicas e químicas. Os solos estudados apresentaram predomínio da fração areia (> 680 g kg⁻¹), com textura variando de franco-arenosa (P4) a franco-argiloarenosa. Os valores de pH em água variaram de 4,2 a 6,5. Os valores de capacidade de troca catiônica variaram de 1,6 cmol_c kg⁻¹ no P4 a 10,3 cmol_c kg⁻¹ no P2, com predomínio dos íons H⁺ no P1 e P4 e Ca²⁺ no P2 e P3. Os horizontes subsuperficiais do P1 e P4 são distróficos, enquanto em P2 e P3 verificou-se elevada saturação por bases, evidenciando caráter eutrófico. À exceção do P2, os demais apresentaram argila de baixa atividade. Em todos os perfis verificaram-se atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos condicionados pelo material de origem e relevo, demonstrando a influência desses fatores na pedogênese.

Termos de indexação: SiBCS, taxonomia de solos, Bioma Cerrado Pantanal.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em julho de 2009 e aprovado em março de 2010.

⁽²⁾ Professor Associado IV da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS. Rodovia Aquidauana, km 12, CEP 79200-000 Aquidauana (MS). E-mail: schiavo@uems.br

⁽³⁾ Professor Associado II do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, BR 465, km 7, CEP 23890-000 Seropédica (RJ). Bolsista do CNPq e FAPERJ. E-mail: gervasio@ufrj.br

⁽⁴⁾ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”. Av. Brasil 56, Centro, CEP 15385-000 Campus de Ilha Solteira (SP). E-mail: luizpauloagro@yahoo.com.br

⁽⁵⁾ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UEMS. E-mail: tonybioagro@hotmail.com

⁽⁶⁾ Doutor em Agronomia – Ciência do Solo, Engenheiro-Agrônomo do INCRA. Av. Senador Robert Kennedy, São Torquato, CEP 29114-300 Vila Velha, (ES). E-mail: ademir.fontana@gmail.com

SUMMARY: CHARACTERIZATION AND CLASSIFICATION OF SOILS DEVELOPED FROM SANDSTONE OF THE AQUIDAUANA FORMATION

The Aquidauana geological formation consists of a set of up to 500 m thick sediments predominantly composed of sandstone with fine to medium grain size, interspersed with sandy conglomerates. In this environment, the topography is one of the main conditioning factors of the formation of different soil types in the landscape. The objective of this study was to characterize and classify soils developed from these sandstones. Four soils profiles along a representative toposequence of gentle slopes were sampled and studied. The profiles were located on the shoulder (P1), backslope (P2), footslope (P3) and toeslope (P4). The soil profiles were morphologically described and physical and chemical properties of their horizons evaluated. The sand fraction was predominant in all profiles ($> 680 \text{ g kg}^{-1}$), with textures ranging from sandy loam (P4) to clay sandy loam. The water pH values ranged from 4.2 to 6.5. The cation exchange capacity values ranged from $1.6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (in P4) to $10.3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (in P2), with a predominance of hydrogen ions in P1 and P4, and calcium in profile P2 and P3. The P1 and P4 pedons were dystrophic, whereas in P2 and P3, a high base saturation status evidenced an eutrophic character. Except in P2, the profiles presented low activity clays. In all soil profiles the morphological, physical, chemical and mineralogical properties were conditioned by the parent material and relief, demonstrating the influence of these factors on the pedogenesis.

Index terms: SiBCS, soil taxonomy, Cerrado Pantanal Biome.

INTRODUÇÃO

A formação Aquidauana, datada do período Carbonífero Superior, localizada em Mato Grosso do Sul compreende arenitos com granulometria variável de fina a grosseira, com ampla gama de cores, desde avermelhadas, cinza arroxeadas até esbranquiçadas. A formação está assentada sobre rochas Pré-Cambrianas representadas pelo Grupo Cuiabá e sequências rudimentares Paleozoicas dos Grupos Paraná (Formação Furnas e formação Aquidauana), compostas por arenitos porosos e friáveis (RADAMBRASIL, 1982).

Essa formação geológica insere-se na transição entre os platôs resquiciais do Planalto Central e a Planície do Pantanal, sendo a maior parte de seus solos formada por arenitos e quartzitos. O relevo escarpado circunscreve platôs com níveis acentuados de elevação posicionados a leste-noroeste do município de Aquidauana. Descrita como a porção superior do relevo denominado Grupo Arenito Aquidauana, é semelhante à formação Botucatu, porém originária de ambiente flúvio-lacustre e apresentando aproximadamente 500 m de espessura.

A melhor representação dos níveis clásticos dessa formação está na posição setentrional devido ao intemperismo mais acentuado, sendo verificados afloramentos de arenitos mais preservados (RADAMBRASIL, 1982). Nos arenitos da formação Aquidauana são comuns feições ferruginosas, cuja distribuição e formas de ocorrência são decorrentes

dos fatores e processos que atuaram durante a evolução das paisagens atuais. No entanto, estudos da evolução e caracterização de solos em função do relevo neste ambiente de formação são bastante escassos.

Informações a respeito da distribuição de solos na região da interface do bioma Cerrado Pantanal, baseadas principalmente em levantamentos de solos generalizados, dada a carência de trabalhos detalhados ou semidetalhados na região, permitem concluir que os solos possuem grande heterogeneidade. Apesar de a maior parte dos solos dessa região ser descrita como profundos, com baixo conteúdo de nutrientes e ausência de minerais primários facilmente intemperizáveis e localizados em áreas planas a suave onduladas, ocorrem também solos rasos, principalmente Cambissolos e Neossolos Litólicos, situados em áreas acidentadas, que podem ser tanto álicos como por vezes eutróficos (Motta et al., 2002). Nas áreas mais acidentadas também podem ser encontrados solos eutróficos, como Argissolos e Nitossolos, geralmente associados a uma maior influência de um material de origem mais básico (Motta et al., 2002).

Nesse ambiente, onde predominam as formas escarpadas, a participação do relevo na evolução dos solos tem importância destacada, visto que ele influencia a quantidade de água que pode infiltrar, acelerando as reações químicas do intemperismo, ou escorrer por superfície, promovendo o transporte de sólidos ou de materiais em solução, com efeitos que se traduzem na formação de diferentes solos, nas diversas

posições das topossequências (Curi & Franzmeier, 1984; Motta et al., 2002). Associada à dinâmica da água na modelagem da paisagem, a erosão geológica dessas áreas provocada pelo recuo das encostas também contribui para a evolução dos solos.

Em estudo de topossequências de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná, Ghidin et al. (2006) observaram que a posição dos perfis na paisagem foi determinante na definição da mineralogia da fração argila. Para os perfis em estudo, foi verificado o predomínio de gibbsita e hematita, indicando que as condições topográficas foram favoráveis para que as reações de hidrólise ocorressem de maneira mais intensa, contribuindo para o desenvolvimento da mineralogia oxidada. Ainda, esses autores verificaram que no ponto mais baixo da paisagem, devido à drenagem limitada, há maior presença de óxidos de Fe de baixa cristalinidade. Especificamente, em estudo de caracterização e gênese de perfis com horizontes plínticos desenvolvidos de arenito Bauru, Coelho & Vidal Torrado (2003) verificaram maior concentração de Fe total nas petroplintitas, sendo compostos essencialmente de óxidos e oxí-hidróxidos de Fe cristalinos, ao passo que nas plintitas observaram-se maiores teores dos compostos de Fe de baixa cristalinidade.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência do fator relevo nas características morfológicas, físicas e químicas de perfis de solos ao longo de uma topossequência do Arenito da formação Aquidauana (MS).

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se no município de Aquidauana, Mato Grosso do Sul, entre as coordenadas 20°27'20" S, 55°40'17" W e altitude de aproximadamente 168 m. Segundo Köppen, o clima pertence ao tipo Aw (tropical úmido), com precipitação pluvial média anual de 1.200 mm e temperaturas máximas e mínimas de 33 e 19 °C, respectivamente. O material de origem é proveniente do Arenito da formação Aquidauana.

Ao longo da topossequência, foram abertas quatro trincheiras, localizadas em pontos distintos, a saber: terço superior de elevação (P1, altitude de 192 m, 20° 27' 10" S e 55° 40' 01" W), terço médio (P2, altitude de 166 m, 20° 26' 57" S e 55° 40' 17" W), terço inferior (P3, altitude de 168 m, 20° 27' 13" S e 55° 40' 25" W) e sopé (P4, altitude de 151 m, 20° 27' 32" S e 55° 40' 38" W) de uma encosta de aproximadamente 1.000 m de comprimento, com declives entre 3 e 8 cm m⁻¹ e relevo suave ondulado. Quanto à drenagem, os perfis foram classificados como: bem drenado (P1), mal drenado (P2) e imperfeitamente drenado (P3 e P4). Os perfis foram descritos morfológicamente, segundo Santos et al. (2006), sendo

coletadas amostras em todos os seus horizontes. As amostras após a coleta foram secas e peneiradas (2 mm), constituindo a terra fina seca ao ar (TFSA). Na TFSA, os atributos físicos e químicos foram determinados de acordo com Embrapa (1997). A composição granulométrica foi avaliada pelo método da pipeta, usando-se dispersão com NaOH 1 mol L⁻¹; a densidade das partículas (D_p) foi determinada pelo método do balão volumétrico (Embrapa, 1997).

O pH foi determinado em água e KCl 1 mol L⁻¹ (relação solo: solução 1:2,5); Ca²⁺ e Mg²⁺ trocáveis, extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por compleximetria;; Na⁺ e K⁺ trocáveis, extraídos por solução Mehlich-1 e determinados por fotometria de chama; Al³⁺ trocável, extraído com solução de KCl 1 mol L⁻¹ e determinado por titulação; H + Al, extraídos com solução de acetato de Ca 0,5 mol L⁻¹ tamponado a pH 7,0 e determinados por titulação; P disponível, extraído com solução de Mehlich-1 e determinado por colorimetria; e C orgânico total, oxidação com dicromato de potássio em meio sulfúrico.

Nos horizontes diagnósticos superficiais e subsuperficiais, os teores de Si, Al, Fe e Ti foram determinados após digestão ácida (método do ataque sulfúrico), a partir dos quais foram calculados os índices Ki e Kr (Camargo et al., 1986).

Simultaneamente à descrição morfológica dos perfis, amostras indeformadas de solo foram coletadas com auxílio de anel volumétrico com volume de 73,5 cm³, para determinação da densidade do solo (D_s), porosidade e resistência do solo à penetração. A D_s, a porosidade total, a macro e microporosidade foram determinadas utilizando-se um anel volumétrico em mesa de tensão, segundo Embrapa (1997). A resistência do solo à penetração foi quantificada em amostras saturadas, após 24 h em mesa de tensão e após 48 h em estufa a 105° C, utilizando-se penetrógrafo de bancada modelo MA-933.

A partir dos atributos morfológicos e dos dados de análises físicas e químicas, os perfis de solo foram classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Embrapa, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aspectos morfológicos

Em todos os perfis, nos horizontes mais superficiais predominou a estrutura do tipo granular (Quadro 1). Nos horizontes subsuperficiais foi verificada maior expressão de estrutura do tipo blocos subangulares no P1, blocos angulares no P2 e P3 e variações desses dois tipos de estrutura no P4.

Verificou-se o predomínio do matiz 5YR, sendo exceção o horizonte A2 do P1, que apresentou matiz 7,5YR, e de baixos valores do croma (valores entre 1 e

2), decorrentes dos maiores teores de matéria orgânica nesses horizontes. Nos horizontes subsuperficiais observou-se maior expressão de matizes mais avermelhados 2,5YR no P1 e P3 e 5,0 YR no P2 e P4. Em P3 verificaram-se cores com mosqueados vermelhos em quantidade abundante, tamanho médio e contraste distinto, enquanto em P2 e P4 foram verificados mosqueados vermelho-amarelados em quantidade abundante, tamanho pequeno e contraste distinto. Essas cores são indicativas da ocorrência do material plíntico (Embrapa, 2006).

A consistência, quando seca, variou de ligeiramente dura a dura no P1, dura a macia no P2, dura em todos os horizontes do P3 e de ligeiramente a extremamente dura em profundidade em P4. Quando úmida, a consistência analisada nos horizontes esteve entre muito friável e friável no P1; de friável a firme no P2 e P3; e friável a extremamente firme no P4. De maneira geral, em todos os perfis estudados, a consistência, quando molhada, foi ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa em superfície e plástica e ligeiramente pegajosa nos horizontes subsuperficiais.

Atributos físicos

Em todos os perfis os teores de argila foram inferiores a 280 g kg⁻¹, em razão da natureza do material de origem (Quadro 2). No P1 e P3 observaram-se maiores teores de argila nos horizontes subsuperficiais (B), porém apenas no P1 foi identificado gradiente textural de 1,88, indicando, segundo os critérios estabelecidos pelo SiBCS (Embrapa, 2006), um horizonte B textural. No P3 o gradiente textural de 1,22, não foi suficiente para identificação deste horizonte. O grau de floculação nos perfis estudados foi baixo, sendo inferior a 50 %, exceto nos horizontes subsuperficiais (Bt₂, Bt₃ e BC) do P1.

Os valores de densidade do solo (Ds) variaram de 1,18 a 1,65 kg dm⁻³ em P4 e P3, respectivamente, não tendo sido verificada correspondência entre os valores mais elevados de Ds e os de areia ou argila, ou de plintita ou petroplintita, observadas em P3 (Quadro 3). A porosidade total variou de 30 a 66 % em P3 e P1, respectivamente, acompanhando as variações observadas na Ds. A microporosidade oscilou de 0,15

Quadro 1. Principais atributos morfológicos de solos desenvolvidos de arenito da formação Aquidauana-MS

Horiz.	Prof.	Cor Munsell		Estrutura ⁽²⁾	Consistência			Textura
		Matriz	Mosqueado ⁽¹⁾		Seca ⁽³⁾	Úmida ⁽⁴⁾	Molhada ⁽⁵⁾	
cm								
Perfil P1 – Terço superior da encosta								
A1	0-10	7,5YR 3/2		F, P, G	LD	MF/F	LPL e LPe	Franco-arenosa
A2	10-24	5YR 3/2		M, P, G	D	MF/F	LPL e LPe	Franco-arenosa
AB	24-36	5YR 3/3		M, MP, BS	D	F	PL e LPe	Franco-arenosa
BA	36-50	2,5YR 3/4		M, P, BS	LD	F	PL e LPe	Franca-arenosa/franco-argiloarenosa
Bt1	50-65	2,5YR 4/4		M, P, BS	LD	F	PL e LPe	Franco-argilo-arenosa
Bt2	65-80	2,5YR 4/4		M, P, BS	LD/D	F	PL e LPe	Franco-argilo-arenosa
Bt3	80-109	2,5YR 4/4		M, P, BS	LD	F	PL e LPe	Franco-argilo-arenosa
BC	109-130*	2,5YR 4/4		M, P, BS	LD	F	PL e LPe	Franco-argilo-arenosa
Perfil P2 – Terço médio da encosta								
Ap	0-10	5YR 3/1		M, P, G	D	F	LPL e LPe	Franca
BA	10-17	5YR 3/1		M, MP, BS/G	D	Fr	PL e LPe	Franco-arenosa
Bg1	17-34	5YR 3/1	5YR 3/2 Ab. Peq. Dis	M, MP, BA	D	Fr	PL e LPe	Franca
Bg2	34-50	5YR 3/1	5YR 3/2 Ab. Peq. Dis	M, MP, BA	D	Fr	PL e LPe	Franco-arenosa
Bg3	50-70	5YR 3/1	5YR 3/2 Ab. Peq. Dis	M, P, BA	D	Fr	PL e LPe	Franco-arenosa
Bg4	70-93	5YR 4/2	5YR 3/2 Ab. Peq. Dis	M, P/M, BA	M	F	PL e LPe	Areia-franca
Bg5	93-110	5YR 4/2	5YR 3/2 Ab. Peq. Dis	M, P/M, BA	M	F	PL e LPe	Franco-arenosa
Bg6	110-127+	5YR 4/2	5YR 3/2 Ab. Peq. Dis	M, P/M, BA	M	F	PL e LPe	Franco-arenosa
Perfil P3 – Terço inferior da encosta								
A	0-13	5YR 3/2		M, P, G	D	F	LPL e LPe	Franco-arenosa
AB	13-23	5YR 3/3		M, P, BS	D	F	PL e LPe	Franco-arenosa/franco-argiloarenosa
Bf1	23-45	2,5YR 3/4	2,5YR 4/8 Ab. Med. Dis	M, P/M, BA	D	Fr	PL e Pe	Franco-arenosa/franco-argiloarenosa
Bf2	45-68	2,5YR 3/6	2,5YR 4/8 Ab. Med. Dis	M, P/M, BA	D	F	PL e Pe	Franco-argilo-arenosa
Bf3	68-90	2,5YR 3/6	2,5YR 4/8 Ab. Med. Dis	M, P, BA	D	F	LPL e LPe	Franco-arenosa/franco-argiloarenosa
Bf4	90-140*	2,5YR 3/6	2,5YR 4/8 Ab. Med. Dis	M, P, BA	D	F	PL e LPe	Franco-argilo-arenosa
Perfil P4 – Sopé da encosta								
A1	0-13	5YR 3/1		M, P/M, G	LD	F	LPL e Pe	Franco-arenosa
A2	13-29	5YR 3/2		M, P, BS	LD	F	LPL e Pe	Franco-arenosa
BA	29-48	7,5YR 3/4		M, P, BS	LD/D	F	LPL e LPe	Franco-arenosa
Bi1	48-67	7,5YR 3/4	5YR 3/2 Ab. Peq. Dis	M, P, BA/BS	D	F	PL e Pe	Franco-arenosa
Bi2	67-80	5YR 6/3	5YR 3/2 Ab. Peq. Dis	M, P, BA	MD	F	PL e Pe	Franco-arenosa
Bi3	80-100*	5YR 6/3	5YR 3/2 Ab. Peq. Dis	M, P, BA	ED	EFr	LPL e LPe	Franco-arenosa

⁽¹⁾ Ab: abundante; Peq: pequeno; Med: médio; Dis: distinto. ⁽²⁾ Estrutura: grau de desenvolvimento (F: fraco M: moderado), tamanho (MP: muito pequeno, P: pequeno, M: médio), tipo (G: granular, BS: blocos subangulares, BA: blocos angulares). ⁽³⁾ Consistência no estado seco (M: macia, LD: ligeiramente dura, D: dura, MD: muito dura, ED: extremamente dura). ⁽⁴⁾ Consistência no estado úmido (MF: muito friável, F: friável, Fr: firme, EFr: extremamente firme). ⁽⁵⁾ Consistência no estado molhado (PL: plástico, LPL: ligeiramente plástica, LPe: ligeiramente pegajosa, Pe: pegajosa).

Quadro 2. Granulometria, argila dispersa em água, grau de flocculação e relação silte/argila de solos desenvolvidos de arenito da formação Aquidauana- MS

Horizonte	Profundidade	Granulometria				Argila dispersa em água	Grau de flocculação	Silte/argila
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila			
	cm	g kg ⁻¹ TFSA					%	
		Perfil P1 - Terço superior da encosta						
A1	0-10	340	450	110	100	90	10	1,10
A2	10-24	330	440	110	120	100	17	0,92
AB	24-36	310	410	100	180	170	5	0,56
BA	36-50	240	410	150	200	190	5	0,75
Bt1	50-65	240	370	140	250	200	20	0,56
Bt2	65-80	210	370	140	280	50	83	0,14
Bt3	80-109	230	370	130	270	30	89	0,48
BC	109-130+	220	410	140	240	30	87	0,58
		Perfil P2 - Terço médio da encosta						
Ap	0-10	170	290	360	180	160	12	2,0
BA	10-17	210	320	300	170	140	18	1,76
Bg1	17-34	180	260	370	190	130	32	1,95
Bg2	34-50	270	350	240	140	130	7	1,71
Bg3	50-70	250	370	220	150	140	7	1,46
Bg4	70-93	320	330	220	130	90	31	0,08
Bg5	93-110	230	310	350	100	90	10	3,50
Bg6	110-127+	190	360	340	110	90	90	3,09
		Perfil P3 - Terço inferior da encosta						
A	0-13	380	380	120	120	90	25	1,00
AB	13-23	260	380	160	200	160	20	0,80
Bf	23-45	285	360	165	190	155	20	0,86
Bf2	45-68	240	380	175	200	125	36	0,87
Bf3	68-90	215	415	175	200	135	32	0,87
Bf4	90-140+	237	370	187	190	160	17	0,98
		Perfil P4 - Sopé da encosta						
A1	0-13	60	490	340	110	70	36	3,09
A2	13-29	80	510	310	100	80	20	3,10
BA	29-48	120	460	290	120	110	8	2,41
Bi1	48-67	180	390	300	130	120	8	2,31
Bi2	67-80	300	300	280	110	80	27	2,55
Bi3	80-100+	310	300	300	80	80	0	3,75

a 0,26 cm³ cm⁻³ no P4 e P3, respectivamente, enquanto a resistência à penetração (RP) acompanhou as variações observadas para a consistência do solo. Nas amostras saturadas, os valores variaram de 0 MPa (P2 e P4) a 0,77 MPa (P3), com tendência a valores próximos de zero nas maiores profundidades dos perfis de drenagem imperfeita (P2 e P4). Simulando a umidade próxima à capacidade de campo, observaram-se valores de RP variando de 0,14 a 1,54 MPa em P1 e P2, respectivamente, estando a consistência, quando úmida, entre friável e firme nos referidos perfis (Quadro 1). A consistência, quando seca, apresentou variação de RP de 1,28 a 15,15 MPa, em P4 e P1, respectivamente. A resistência à penetração associada a algumas características morfológicas do solo, como a consistência, pode estar diretamente relacionada ao crescimento radicular das plantas. Desse modo, Lipiec & Hatano (2003) afirmam que valores de RP variando de 1,0 a 1,7 MPa começam a restringir o crescimento radicular. Nos perfis estudados, as amostras, quando

na umidade correspondente à capacidade de campo, não ultrapassaram o limite crítico de 2,0 MPa, preconizado por Beutler et al. (2003).

Atributos químicos

Os valores de pH em água variaram entre 4,2 e 6,5 (Quadro 4). No P1, observaram-se os menores valores, os quais reduzem em profundidade, paralelamente ao aumento dos teores de Al³⁺. Nos demais perfis (P2, P3 e P4), os valores de pH em água foram próximos a 6,0, com pouca variação em profundidade, não sendo observada a presença de Al³⁺.

Os maiores teores de Ca²⁺ ocorreram nos horizontes superficiais, com variações de 0,1 a 0,8 cmol_c kg⁻¹, 2,4 a 5,8 cmol_c kg⁻¹, 0,8 a 1,4 cmol_c kg⁻¹ e 0,0 a 2,6 cmol_c kg⁻¹, no P1, P2, P3 e P4, respectivamente (Quadro 4). Os valores de Mg²⁺ no P1 (0,1 a 0,6 cmol_c kg⁻¹) e P4 (0,4 a 1,1 cmol_c kg⁻¹) apresentaram pouca variação em profundidade. Já no P2 os valores

Quadro 3. Densidade, porosidade e resistência à penetração de solos desenvolvidos de arenito da formação Aquidauana-MS

Horizonte	Profundidade cm	Densidade		Porosidade			Resistência à penetração		
		Solo	Partícula	Macro	Micro	Total	SAT	CC	105 °C
		kg dm ⁻³		%			MPa		
Perfil P1 – Terço superior da encosta									
A1	0-10	1,63	2,84	20,9	18,7	39,7	0,36	0,54	7,40
A2	10-24	1,46	2,81	23,9	16,6	40,6	0,01	0,36	11,41
AB	24-36	1,57	2,84	20,1	18,2	38,3	0,20	0,41	13,92
BA	36-50	1,49	2,84	22,3	19,2	41,6	0,09	0,26	6,52
Bt1	50-65	1,46	2,79	23,3	22,0	45,3	0,12	0,33	7,80
Bt2	65-80	1,46	2,79	20,2	21,5	41,7	0,30	0,56	10,74
Bt3	80-109	1,52	2,75	17,2	22,3	39,5	0,44	0,61	15,15
BC	109-130+	1,25	2,84	45,7	20,3	65,9	0,01	0,14	2,11
Perfil P2 – Terço médio da encosta									
Ap	0-10	1,36	2,85	24,8	18,6	43,4	0,02	0,82	3,13
BA	10-17	1,58	2,85	20,8	19,9	40,6	0,72	1,54	10,94
Bg1	17-34	1,40	2,65	20,3	25,2	45,5	0,48	0,98	7,13
Bg2	34-50	1,53	2,49	15,1	21,3	36,4	0,30	1,54	12,65
Bg3	50-70	1,63	2,83	25,6	17,3	42,9	0,07	0,65	6,54
Bg4	70-93	1,47	2,87	19,2	18,8	38,0	0,00	0,41	2,49
Bg5	93-110	1,57	2,61	16,6	18,9	35,5	0,00	0,59	11,78
Bg6	110-127+	1,40	2,57	18,2	18,8	37,1	0,00	0,59	5,94
Perfil P3 – Terço inferior da encosta									
A	0-13	1,50	2,80	16,3	21,4	37,8	0,24	0,56	10,34
AB	13-23	1,36	2,88	13,9	16,1	30,1	0,38	0,58	7,86
Bf	23-45	1,65	2,83	15,8	25,8	41,5	0,50	0,43	10,61
Bf2	45-68	1,57	2,81	17,5	22,4	40,0	0,32	0,86	9,18
Bf3	68-90	1,46	2,87	20,7	20,5	41,1	0,16	0,42	6,80
Bf4	90-140+	1,58	2,82	18,97	21,1	40,1	0,31	0,53	8,76
Perfil P4 – Sopé da encosta									
A1	0-13	1,18	2,67	35,0	15,0	50,0	0,04	0,49	1,28
A2	13-29	1,39	2,72	20,4	19,9	40,2	0,13	0,67	10,36
BA	29-48	1,36	2,72	30,2	17,5	47,7	0,00	0,41	4,19
Bi1	48-67	1,37	2,80	26,0	17,9	43,8	0,00	0,34	4,12
Bi2	67-80	1,49	2,84	25,1	17,5	42,6	0,00	0,96	9,12
Bi3	80-100+	1,41	2,93	20,9	16,0	36,9	0,11	0,54	11,57

Dp: densidade da partícula; Ds: densidade do solo; SAT: amostra saturada; CC: umidade simulada na capacidade de campo; 105 °C: amostra em estufa a 105 °C.

de Mg²⁺ diminuíram em profundidade, variando de 0,6 a 2,1 cmol_c kg⁻¹, enquanto no P3 o padrão foi inverso, ou seja, os valores de Mg²⁺ aumentaram em profundidade. Ainda, nos horizontes subsuperficiais dos perfis P3 e P4, os valores de Mg²⁺ foram maiores que os de Ca²⁺. Estudando Plintossolos de origem da formação Itapecuru, no Estado do Maranhão, Anjos et al. (2007) também verificaram esse padrão, o qual atribuíram à contribuição de maiores teores de Mg dos sedimentos, bem como à maior solubilidade do Mg em relação ao Ca.

Os valores de CTC variaram de 1,6 cmol_c kg⁻¹ no P4 a 10,3 cmol_c kg⁻¹ no P2 (Quadro 4), com predomínio dos íons de hidrogênio no P1 e P4 e de Ca no P2 e P3. Quanto ao valor V %, no P1 e P4, os horizontes diagnósticos subsuperficiais foram identificados como distróficos (V < 50 %). Os perfis P2 e P3 apresentaram elevada saturação por bases (V > 50 %) nos horizontes diagnósticos subsuperficiais, identificando o caráter

eutrófico (Embrapa, 2006). À exceção do perfil P2 de horizonte Bg2, os demais apresentaram atividade da fração argila inferior a 27 cmol_c kg⁻¹, sendo caracterizados como de argila de baixa atividade (Quadro 5).

No P2, o teor de carbono orgânico (CO) foi mais elevado (18,9 g kg⁻¹) quando comparado ao dos demais perfis, o que pode estar relacionado à textura com maior teor de argila e silte, com valores de 180 e 360 g kg⁻¹ de TFSA, respectivamente (Quadro 2). Nos demais perfis, os teores de CO foram baixos: 5,1, 4,8 e 7,0 g kg⁻¹ no P1, P3 e P4, respectivamente, nos horizontes superficiais. Os maiores valores de P disponível foram observados nos horizontes superficiais do P2 (55 mg kg⁻¹), seguido do horizonte A1 do P1 (30 mg kg⁻¹); valores próximos à unidade foram observados no P3 e P4. Os teores elevados de P nos horizontes superficiais do P1 e P2 devem estar relacionados aos resíduos de adubações fosfatadas – prática comum adotada para cultivo dessas áreas.

Quadro 4. Atributos químicos, teor de carbono orgânico e fósforo de solos desenvolvidos de arenito da formação Aquidauana- MS

Horizonte	Profundidade	pH (1:2,5)		Δ pH	Complexo sortivo									CO	P	V
		H ₂ O	KCl		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SB	H ⁺	Al ³⁺	H + Al	CTC			
cm		cmol _c kg ⁻¹											g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	%	
Perfil P1 – Terço superior da encosta																
A1	0-10	5,3	3,8	-1,5	0,8	0,3	0,22	0,00	1,32	2,7	0,3	3,0	4,3	5,1	30	31
A2	10-24	5,7	3,8	-1,9	1,0	0,4	0,28	0,00	1,68	3,0	0,0	3,0	4,7	5,4	22	36
AB	24-36	6,0	3,9	-2,1	1,6	0,1	0,21	0,00	1,91	3,0	0,0	3,0	4,9	3,6	5	39
BA	36-50	4,8	3,5	-1,3	0,5	0,6	0,08	0,00	1,18	2,2	0,3	2,5	3,7	3,3	1	32
Bt1	50-65	4,3	3,5	-0,8	0,7	0,3	0,06	0,00	1,06	1,8	0,7	2,5	3,6	5,7	1	30
Bt2	65-80	4,2	3,5	-0,7	0,5	0,5	0,06	0,00	1,06	2,5	0,5	3,0	4,1	3,1	1	26
Bt3	80-109	4,3	3,6	-0,7	0,4	0,3	0,04	0,00	0,74	2,4	0,6	3,0	3,7	2,4	1	20
BC	109-130+	4,6	3,7	-0,9	0,1	0,4	0,04	0,00	0,54	1,0	0,7	1,7	2,2	2,1	1	24
Perfil P2 – Terço médio da encosta																
Ap	0-10	6,5	5,4	-1,3	5,8	1,8	0,54	0,04	8,18	2,1	0,0	2,1	10,3	18,9	55	80
BA	10-17	6,3	4,8	-1,5	4,5	2,1	0,28	0,04	6,92	3,3	0,0	3,3	10,2	13,6	17	68
Bg1	17-34	6,0	4,6	-1,4	4,6	1,7	0,14	0,04	6,48	4,6	0,0	4,6	11,1	13,3	7	58
Bg2	34-50	6,0	4,7	-1,3	3,1	1,5	0,10	0,04	4,74	2,1	0,0	2,1	6,8	7,1	4	69
Bg3	50-70	6,2	4,8	-1,4	3,3	1,4	0,10	0,04	4,84	1,7	0,0	1,7	6,5	6,0	3	74
Bg4	70-93	6,0	4,5	-1,5	2,4	0,6	0,08	0,04	3,12	2,1	0,0	2,1	5,2	4,1	5	60
Bg5	93-110	5,9	4,5	-1,4	2,4	0,6	0,10	0,04	3,14	2,1	0,0	2,1	5,2	4,8	3	60
Bg6	110-127+	6,1	4,7	-1,4	2,5	0,6	0,08	0,04	3,22	2,1	0,0	2,1	5,3	4,2	7	61
Perfil P3 – Terço inferior da encosta																
A	0-13	5,9	4,4	-1,5	1,3	0,5	0,11	0,00	1,91	1,7	0,0	1,7	3,6	4,8	1	53
AB	13-23	6,1	4,4	-1,7	1,4	0,4	0,07	0,00	1,87	1,3	0,0	1,3	3,2	4,1	1	59
Bf1	23-45	5,9	4,0	-1,9	1,1	0,7	0,04	0,00	1,80	0,8	0,0	0,8	2,6	2,1	1	70
Bf2	45-68	5,9	4,0	-1,9	1,1	0,6	0,04	0,00	1,74	1,1	0,0	1,1	2,8	1,4	1	63
Bf3	68-90	6,0	4,1	-1,9	0,8	0,9	0,06	0,00	1,76	1,0	0,0	1,0	2,8	1,5	1	64
Bf4	90-140+	6,5	4,7	-1,8	0,8	1,2	0,09	0,04	2,17	0,6	0,0	0,6	2,7	1,2	1	80
Perfil P4 – Sopé da encosta																
A1	0-13	6,3	4,9	-1,4	2,6	1,1	0,10	0,02	3,82	2,5	0,0	2,5	6,3	7,0	1	60
A2	13-29	5,7	4,5	-1,2	1,6	0,7	0,10	0,00	2,40	2,2	0,3	2,5	4,9	5,7	2	49
BA	29-48	5,8	4,0	-1,8	0,9	0,6	0,09	0,01	1,60	2,1	0,0	2,1	3,7	3,9	2	43
Bi1	48-67	5,7	3,9	-1,8	0,4	0,4	0,14	0,01	0,95	1,7	0,0	1,7	2,7	2,4	2	36
Bi2	67-80	6,1	3,8	-2,3	0,0	0,7	0,10	0,01	0,81	2,1	0,0	2,1	2,9	2,1	3	28
Bi3	80-100+	6,4	3,9	-2,5	0,0	0,7	0,08	0,02	0,80	0,8	0,0	0,8	1,6	1,2	3	50

CO: carbono orgânico total; SB: soma de bases (SB= Ca²⁺+Mg²⁺+K⁺+Na⁺); CTC = (SB+H + Al); V = 100 SB/CTC.

Os valores de SiO₂ variaram de 40 a 99 g kg⁻¹; Al₂O₃, de 46 a 95 g kg⁻¹; Fe₂O₃, de 15 a 33 g kg⁻¹; e TiO₂, de 2 a 8 g kg⁻¹(Quadro 5). De maneira geral, os baixos valores desses elementos estão associados aos baixos conteúdos de argila observados nos solos estudados. No P1 e P3 verificaram-se incrementos nos teores de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ nos horizontes subsuperficiais. Para os perfis P2 e P4 esse padrão não foi verificado, devido, provavelmente, à localização na parte mais baixa da paisagem (P4) e ao relevo côncavo (P2), ocasionando drenagem imperfeita. Ainda no P2, observaram-se os maiores valores de Ki (2,0 e 2,1) e Kr (1,7 e 1,8) – indicativo de solos com baixo grau de intemperismo (Embrapa, 2006). Em trabalho com Plintossolos no Cerrado, Gomes et al. (2007) observaram valores de Ki (0,7 a 1,1) e Kr (0,5 a 0,9) inferiores aos encontrados no perfil P3 com a presença de plintita. Por outro lado, os mesmos autores observaram para Cambissolos valores de Ki

(1,6 a 1,8) e Kr (0,9 a 1,4), corroborando os observados para o perfil P4. Para Plintossolos no Maranhão, Anjos et al. (2007) verificaram valores de Ki elevados, superiores a 2,2, indicando grau de intemperização não muito elevado dos solos por eles estudados.

Quanto aos teores de TiO₂, observou-se pouca variação, podendo-se inferir, pela uniformidade dos materiais e pelo material de origem do solo, que se trata de arenito subjacente.

Gênese e classificação dos solos

Em função dos teores de CO e da espessura, os horizontes superficiais de todos os perfis foram identificados como A moderado (Embrapa, 2006). No terço superior da encosta, o P1 apresenta um horizonte de acumulação de argila em subsuperfície, identificado pela presença de gradiente textural de 1,88; a formação deste gradiente pode ser devido à ação do processo

Quadro 5. Composição química da fração terra fina seca ao ar, Ki, Kr e atividade da fração argila em alguns horizontes de solos desenvolvidos de arenito da Formação Aquidauana- MS

Horizonte	Profundidade	Ataque sulfúrico (H ₂ SO ₄ 1:1)				Ki	Kr	Atividade da argila ⁽¹⁾
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂			
	cm	g kg ⁻¹						cmol _c kg ⁻¹
		Perfil P1 – Terço superior da encosta						
A1	0-10	40	46	15	4	1,5	1,2	-
Bt1	50-65	99	95	33	8	1,8	1,4	14
		Perfil P2 – Terço médio da encosta						
Ap	0-10	83	70	18	3	2,0	1,7	-
Bg2	34-50	64	51	16	2	2,1	1,8	49
		Perfil P3 – Terço inferior da encosta						
A	0-13	40	51	16	5	1,3	1,1	-
Bf1	23-45	83	82	26	7	1,7	1,4	12
		Perfil P4 – Sopé da encosta						
A1	0-13	53	51	15	4	1,7	1,5	-
Bi1	48-67	56	59	15	3	1,6	1,4	21

⁽¹⁾ Estimada segundo Embrapa (2006).

pedogenético de eluviação e iluviação associado à erosão seletiva de argila dos horizontes superficiais. A presença do horizonte B textural, associada à atividade de argila baixa (CTC < 27 cmol_c kg⁻¹ argila), faz com que esse perfil se enquadre na ordem dos Argissolos. Nos horizontes subsuperficiais, o predomínio do matiz 2,5 YR faz com que ele seja classificado, em nível de subordem, como Argissolo Vermelho. Como os horizontes subsuperficiais têm baixa saturação por bases (V < 50 %), enquadra-se como Argissolo Vermelho distrófico no nível categórico de Grande Grupo. Por não apresentar nenhum outro atributo diferencial, o perfil foi classificado, em nível de subgrupo, como Argissolo Vermelho distrófico típico.

No terço médio de paisagem, o solo situa-se numa zona ligeiramente deprimida, com maior influência do lençol freático, o que permite a acumulação de água por mais tempo, favorecendo o desenvolvimento do processo pedogenético de gleização, indicado pelas cores com baixo croma, associada à presença de mosqueados, que variam de 20 a 40 %. O conjunto de atributos observados faz com que o perfil seja classificado como Gleissolo Háptico, no nível de subordem. A atividade de argila baixa (CTC < 27 cmol_c kg⁻¹ argila), associada aos elevados valores de saturação por bases (V > 50 %), leva o perfil a ser enquadrado, em nível de subgrupo, como Gleissolo Háptico Tb eutrófico típico. Os elevados valores de saturação por bases podem ser decorrentes do transporte e acumulação das bases em função da depressão observada nesse ponto da paisagem.

O P3, no terço inferior de encosta, é submetido a uma maior influência das variações sazonais do lençol freático. Observa-se, nos seus horizontes subsuperficiais, mosqueamento abundante de

coloração avermelhada, tamanho pequeno e contraste distinto. Associada à coloração mosqueada tem-se a presença de plintita e concreções ferruginosas, em quantidade variando de comum a abundante, correspondendo a valores entre 15 e 40 % do volume do solo. Esses atributos indicam a ocorrência do processo pedogenético de plintitização, sendo diagnóstico do horizonte plíntico, segundo os critérios adotados pelo SiBCS (Embrapa, 2006). A partir dos atributos e horizontes identificados, o perfil foi classificado, em nível de subordem, como Plintossolo Háptico. Os elevados valores de saturação por bases (V > 50 %) fazem com que o perfil seja classificado, em nível de subgrupo, como Plintossolo Háptico eutrófico típico. Os elevados valores de saturação por bases também podem ser resultantes do transporte e de posterior acumulação de íons nesse ponto de paisagem.

Para o P4, localizado no sopé da encosta, observaram-se mosqueados de coloração vermelho-amarelada, em quantidade abundante e contraste distinto. As cores observadas nos horizontes subsuperficiais não atendem aos requisitos definidos para horizonte glei. Nesse perfil não foi verificada a expressão de nenhum processo pedogenético em grande intensidade, sendo o horizonte diagnóstico subsuperficial identificado como B incipiente. Observou-se distribuição irregular dos teores de argila e da relação silte/argila em profundidade, o que faz com que ele seja classificado, em nível de subordem, como Cambissolo Flúvico. Os baixos valores de V % e argila de atividade baixa (CTC < 27 cmol_c kg⁻¹ argila) fazem com que, na categoria de subgrupo, ele se enquadre como Cambissolo Flúvico Tb distrófico típico.

CONCLUSÕES

1. Como principais atributos morfológicos e físicos, verificaram-se cores avermelhadas nos perfis localizados nas posições de paisagem condicionadoras de melhor drenagem e mosqueamento, associado a cores mais amareladas, naqueles localizados onde ocorre maior restrição à drenagem. Em todos os perfis, observou-se o predomínio da estrutura em blocos subangulares e textura variando de franco-arenosa a franco-argiloarenosa.

2. Quanto aos atributos químicos e mineralógicos, verificaram-se solos com saturação por bases variável e predomínio de argilas de atividade baixa ($CTC < 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ argila).

3. Por meio da análise dos atributos morfológicos, químicos, físicos e mineralógicos, constatou-se a influência dos fatores relevo e material de origem, como principais atuantes na gênese dos solos estudados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul - FUNDECT, chamada Universal 02/2005, processo 41/100.114/2006; e ao CNPq projeto "casadinho", processo 620029/20080, pelo apoio financeiro.

LITERATURA CITADA

- ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G.; PÉREZ, D.V. & RAMOS, D.P. Caracterização e classificação de Plintossolos no município de Pinheiro-MA. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1035-1044, 2007.
- BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C. & PEREIRA FILHO, I.A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na Região dos Cerrados. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:167-177, 2003.

- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análises química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1986. 94p. (Boletim Técnico, 106)
- COELHO, M.R. & VIDAL-TORRADO, P. Caracterização e gênese de perfis plínticos desenvolvidos de arenito do grupo bauru. II- Mineralogia. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:495-507, 2003.
- CURI, N. & FRANZMEIER, D.P. Toposequence of Oxisols from the Central Plateau of Brazil. *Soil Sci. Soc. Am.*, 48:341-346, 1984.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- GHIDIN, A.A.; MELO, V.F.; LIMA, V.C. & LIMA, J.M.J.C. Toposequências 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, 2006.
- GOMES, J.B.V.; CUR, N.; SCHULZE, D.G.; MARQUES, J.J.G.S.M.; KER, J.C. & MOTTA, P.E.F. Mineralogia e micromorfologia de solos esqueléticos do bioma cerrado, no leste de Goiás. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:875-886, 2007.
- LIPIEC, J. & HATANO, R. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. *Geoderma*, 116:107-136, 2003.
- MOTTA, P.E.F.; CARVALHO FILHO, A.; KER, J.C.; PEREIRA, N.R.; CARVALHO JÚNIOR, W. & BLANCANEUX, P. Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. *Pesq. Agropec. Bras.*, 37:869-878, 2002.
- RADAMBRASIL. FOLHA SF.21 CAMPO GRANDE. Ministério das Minas e Energia - Departamento Nacional da Produção Mineral. Levantamentos de Recursos Naturais. Rio de Janeiro, 1982. v.28.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C. & ANJOS, L.H.C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 92p.