

CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE PLINTOSSOLOS NO MUNICÍPIO DE PINHEIRO-MA⁽¹⁾

Lúcia Helena Cunha dos Anjos⁽²⁾, Marcos Gervasio Pereira⁽²⁾, Daniel Vidal Pérez⁽³⁾ & Doracy Pessoa Ramos⁽⁴⁾

RESUMO

Objetivou-se neste trabalho caracterizar e classificar quatro Plintossolos localizados no município de Pinheiro-MA, de forma a validar novas classes propostas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). Foram selecionados quatro pedons em pontos distintos da paisagem: terço superior, médio, inferior e base da encosta, tendo como material de origem arenitos ferruginosos da Formação Itapecuru e sedimentos coluviais e aluviais. Os perfis foram morfologicamente descritos e os horizontes avaliados quanto às propriedades físicas, químicas e mineralógicas. Os três perfis localizados ao longo da encosta foram classificados como Plintossolos Argilúvicos, e o situado na transição para a várzea, como Plintossolo Háptico. Três perfis apresentaram caráter concrecionário no perfil de solo, identificando os solos como petroplínticos no quarto nível categórico. Todos os solos apresentaram caráter alítico, indicando ambiente de formação de solos diferenciado nesta localidade do Estado do Maranhão, que favorece a preservação de argilominerais de alta atividade juntamente com elevada acidez do solo. As classes inseridas no SiBCS, na ordem dos Plintossolos, se mostraram adequadas para classificar os perfis e contemplam as variações relacionadas ao ambiente pedogenético.

Termos de indexação: plintita, caráter alítico, SiBCS, taxonomia de solos.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em novembro de 2004 e aprovado em maio de 2007.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. CEP 23890-000 Seropédica (RJ). Bolsista do CNPq. E-mail: lanjosh@ufrj.br, gervasio@ufrj.br

⁽³⁾ Pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa em Solos, Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico 1024, Jardim Botânico, CEP 22460-000 Rio de Janeiro (RJ). E-mail: daniel@cnps.embrapa.br

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Solos do CCTA, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. CEP 28015-620 Campos dos Goytacazes (RJ). E-mail: doracy@uenf.br

SUMMARY: CHARACTERIZATION AND CLASSIFICATION OF PLINTOSOLS FROM PINHEIRO, MARANHÃO STATE, BRAZIL

The objective of the study was to characterize and classify four Plintosols (Ultisols and Entisols with plinthite) in Pinheiro county, Maranhão state (Brazil), to validate the new classes proposed in the Brazilian System of Soil Classification (SiBCS). Four pedons were selected in different hill slope positions: shoulder, backslope, footslope, and toeslope. The parent material consisted of ferruginous sandstone of the Itapecuru Formation and colluvial and alluvial sediments. Soil profiles were morphologically described and each horizon analyzed for physical, chemical and mineralogical properties. According to the SiBCS, the three soil profiles along the slope were classified as Plintossolos Argilúvicos (Plinthudults), and the profile in the transition to lowland as Plintossolo Háptico (Entisols). Three profiles had a concretionary character and were classified as petroplinthic in the subgroup level. All soils had an alitic character, indicating that the soil formation environment in Maranhão state favors the preservation of clay minerals with high activity associated with high soil acidity. The soil classes introduced in the SiBCS to complement the Plintosols order proved adequate to classify the profiles and take into account the variations related to the pedogenetic environment.

Index terms: plinthite, alitic character, SiBCS, soil taxonomy.

INTRODUÇÃO

Solos com plintita e concreções ferruginosas ocorrem em grandes extensões no Brasil (Anjos et al., 1995; Batista & Santos, 1995). As principais áreas de solos com plintita ou petroplintita no País ocorrem na região Amazônica (alto Amazonas), Amapá, Ilha de Marajó, Baixada Maranhense, Piauí setentrional, sudoeste de Tocantins, norte de Goiás, Pantanal Matogrossense e Ilha do Bananal (Embrapa, 1981). Apesar de pouco documentadas, a petroplintita e a plintita ocorrem de forma freqüente nos solos derivados da Formação Adamantina, regiões norte e oeste do Estado de São Paulo; muitas vezes são verificados perfis completamente dominados por essas feições (Coelho et al., 2001). No Estado do Maranhão, no Nordeste do Brasil, esses solos são formados a partir de arenitos ferruginosos da Formação Itapecuru ou sedimentos colúviais, em clima tropical subúmido (Anjos et al., 1995), onde condições de alta precipitação pluviométrica se alternam com período prolongado de decréscimo acentuado das chuvas.

A plintita é definida como uma formação constituída de mistura de material de argila com grãos de quartzo e outros minerais, pobre em carbono e rica em Fe, ou Fe e Al, que, sob vários ciclos de umedecimento e secagem, se consolida irreversivelmente (Embrapa, 1999; Oliveira, 2001). Sua gênese está relacionada à segregação, mobilização, transporte e concentração de íons e compostos de Fe. O Fe ora existente tanto pode ser proveniente do material de origem, como translocado de outros horizontes ou proveniente de áreas adjacentes mais elevadas (Driessen & Dudal, 1989).

Segundo Embrapa (1999, 2006), Plintossolos são solos constituídos por material mineral, apresentando

horizonte plíntico ou litoplíntico ou concrecionário iniciando dentro de 40 cm, ou dentro de 200 cm quando imediatamente abaixo do horizonte A ou E, ou de outro horizonte que apresente cores pálidas, variegadas ou com mosqueados em quantidade abundante. O horizonte diagnóstico plíntico é definido de acordo com a quantidade de plintita, e sua extensão deve ter no mínimo 15 cm de espessura e conter mais de 15 % de plintita por volume.

Esta classe compreende solos formados sob condições de restrição à percolação da água, sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade, que tem como consequência a formação de um horizonte plíntico (Embrapa, 1999, 2006). O impedimento à livre drenagem pode ser resultante da existência de um lençol freático mais superficial em algum período do ano, o que ocorre em áreas de cotas inferiores com relevo plano, como depressões, baixadas, terços inferiores de encostas, ou devido à existência de camadas concrecionárias ou materiais de texturas argilosas, como nas áreas de surgente em condições de clima tropical úmido.

Embora esta classe de solos esteja associada a ambientes de formação de solos com alto grau de intemperismo, nos quais a mineralogia resultante é geralmente caulínica ou oxídica, em alguns estudos, como os de Daugherty & Arnold (1982), UFRRJ (1986), Oliveira et al. (1992), Anjos et al. (1995) e Lima et al. (2006), foram caracterizados Plintossolos com argila de atividade alta (CTC estimada da fração argila maior que 27 cmol_c kg⁻¹ de argila).

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar e classificar solos com horizonte plíntico no município de Pinheiro, no Maranhão, de forma a validar novas classes propostas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS).

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização do meio físico

A área onde os solos se localizam situa-se no município de Pinheiro, Estado do Maranhão, entre as latitudes 2° 49' e 2° 53' S e longitudes 45° 15' e 45° 25' W de Greenwich. O tipo climático da região é o tropical subúmido, com precipitação média anual de 1.800 mm irregularmente distribuídos, apresentando duas estações bem contrastantes: uma seca, que vai de julho a dezembro, e outra úmida, de janeiro a junho, concentrando-se as maiores precipitações nos meses de março a maio (Embrapa, 1986).

O material de origem refere-se a arenitos ferruginosos da Formação Itapecuru, Cretáceo Inferior, ou sedimentos coluviais e aluviais do Quaternário, depositados nas partes mais baixas da paisagem (Embrapa, 1986). A vegetação primária da área é representada pela floresta Amazônica Maranhense transicional para a floresta de babaçu, com grande expressão da vegetação secundária, a qual foi resultado da implantação de lavouras com práticas culturais de agricultura itinerante de corte e queima. Esta floresta é caracterizada por matas de cipós, nas áreas mais úmidas, e matas secas e com caráter semidecidual, apresentando nestas maiores densidades de palmeiras, como babaçu (*Orbignya* sp.) e bacaba (*Oenocarpus* spp.). Difere da floresta amazônica típica pela grande concentração de indivíduos em algumas poucas famílias e espécies que seriam dominantes. A floresta de babaçu é caracterizada pelos grupamentos compactos desta palmeira, em muitos casos como vegetação secundária resultante da ocupação e devastação da floresta equatorial subperenifólia dicótilo-palmácea (Muniz, 2004).

Foram selecionados quatro perfis de solo situados em posições distintas da paisagem. Os perfis P1, P2 e P3 localizam-se em relevo suave ondulado nos terços superior, médio e inferior de encosta, respectivamente; já o perfil P4 localiza-se em relevo plano, no sopé da encosta, em área de transição para a várzea aluvional.

Os perfis foram descritos em trincheiras e a caracterização morfológica e coleta de amostras de solo foram realizadas segundo as normas preconizadas por Lemos & Santos (1996). Amostras deformadas foram coletadas, em cada horizonte, para realização das análises físicas, químicas e mineralógicas, e amostras indeformadas foram coletadas para determinação da densidade do solo. As análises foram efetuadas em material seco ao ar, destorroado e passado em peneira com malhas de 2 mm de abertura, para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), segundo Embrapa (1997).

A fração argila foi determinada pelo método da pipeta. O pH foi determinado em água e em KCl 1 mol L⁻¹, em relação solo-líquido 1:2,5. O carbono orgânico (C Org.) foi obtido pelo método volumétrico por oxidação com solução 0,2 mol L⁻¹ de dicromato de potássio e ácido sulfúrico. Os cátions trocáveis

divalentes (Ca²⁺ e Mg²⁺) e a acidez trocável (Al³⁺) foram extraídos com solução de KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por titulação. Sódio e potássio trocáveis foram analisados pelo método fotométrico diretamente no extrato do solo obtido com solução Mehlich-1. A acidez potencial foi determinada pelo método volumétrico com extração pelo acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0. A partir desses dados, foram calculados, conforme Embrapa (1997): relação silte/argila, grau de flocculação, soma de bases (S), hidrogênio trocável, capacidade de troca de cátions (CTC), atividade da fração argila, saturação por bases (V %) e percentagem de saturação por Al (m %).

Os teores de Fe na fração terra fina foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, após extração com solução de ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (DCB), segundo Mehra & Jackson (1960), modificado por Schulze (1984), e com solução de oxalato ácido de amônio 0,2 mol L⁻¹, na ausência de luz, de acordo com Schwertmann (1964). A partir dos teores de Fe extraídos por oxalato de amônio (Feo) e ditionito-citrato-bicarbonato (Fed) e pelo ataque sulfúrico (Fes), foram calculadas as relações Feo/Fed e Fed/Fes, utilizadas como índice qualitativo do grau de cristalinidade dos óxidos (Kämpf, 1988) e na interpretação de processos pedogenéticos (Santos & Batista, 1996).

A identificação e a semiquantificação dos minerais da fração argila foram feitas por difratometria de raios X (DRX), usando-se lâminas orientadas e radiação K α de λ 0,15405 nm, produzidas por tubo de cobre, 20 Kv e 30 mA. As amostras de argila foram também saturadas com K, aquecidas e saturadas com Mg e glicerol, visando identificar os argilominerais expansíveis e, ou, com intercalação de polímeros de Al.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aspectos morfológicos

Os perfis de solo apresentam horizontes subsuperficiais (B e, ou, C) com cores indicativas da presença de material plíntico e do processo de plintitização (Embrapa, 2006), com mosqueados vermelhos e vermelho-amarelados em quantidade abundante e de contraste proeminente em relação à cor de fundo (Santos et al., 2005) e com cores variegadas. No perfil P4, localizado em ambiente com drenagem imperfeita, há predomínio de cores cinzentas, com croma 2, no horizonte C. Com exceção do perfil P4, os solos apresentam seqüência de horizontes A, Bf, C, sendo a transição entre os horizontes A e B em geral marcada pela ocorrência dos horizontes transicionais AB e BA.

A classe textural no horizonte superficial de todos os perfis é franco-arenosa, e no horizonte plíntico varia de franco a argila. O domínio da fração areia (Quadro 1) nos perfis é explicado pelo material de

Quadro 1. Principais atributos morfológicos dos solos estudados

Horizonte	Profundidade cm	Cor Munsell (úmida)		Textura	Estrutura ⁽²⁾
		Matriz	Mosqueado ⁽¹⁾		
Perfil P1					
A	0– 17	10YR 3/1		Franca	fr. peq. gran.
AB	17– 39	10YR 5/7		Franco-argilosa	-
Bf1	39– 81	7,5YR 4/2	10R 4/6 e 5YR 6/1 Ab, Pro	Argila	mod. peq. bl. ang.
Bf2	81–124	10YR 6/2	10R 4/8 Ab, Pro	Argilo-siltosa	fr. peq. bl. ang.
Perfil P2					
A	0– 10	10YR 3/2		Franco-arenosa	fr. peq. a méd. gran.
AB	10– 25	10YR 4/3		Franco-arenosa	maciça
BAC	25– 40	10YR 4/3	10YR 4/6 Po, Pro	Franco-argilo-arenosa	-
Bf	40– 80	10YR 4/4	2,5YR 5/8 Ab, Pro	Franco-argilo-arenosa	fr. méd. bl. ang. e maciça
C	80–120	Variegado		Franco-arenosa	laminar
Perfil P3					
A	0– 6	2,5Y 5/2		Franco-arenosa	mod. méd. a gr. gran.
AB	6– 26	2,5Y 5/2		Franco-arenosa	fr. peq. gran.
BAC	26– 50	2,5Y 6/2	7,5YR 5/6 Ab, Dis.	Franca	-
Btf1	50– 75	Variegado		Franca	maciça
Btf2	75–110	Variegado		Franco-argilo-arenosa	maciça
Perfil P4					
A	0– 11	10YR 3/3		Franco-arenosa	fr. peq. a méd. gran.
AC	11– 26	10YR 4/3		Franco-arenosa	maciça
C	26– 51	10YR 5/2	10YR 5/6 Po, Dif	Franco-arenosa	maciça
Cc	51– 65	10YR 6/2		Franco-argilo-arenosa	-
Cf	65–180	10YR 4/2	5YR 6/8 Ab, Pro	Franco-argilo-arenosa	maciça

⁽¹⁾ Co: comum; Ab: abundante; Pro: proeminente; Dif: difuso; Po: pouco; Dis: distinto. ⁽²⁾ fr.: fraca; mod.: moderada; fo: forte; gran.: granular; bl.: blocos; ang.: angulares; subang.: subangulares; peq.: pequena; méd.: média; gr.: grande.

origem; destaca-se, entretanto, o aumento da fração argila em profundidade nos perfis localizados em posições de melhor drenagem na encosta, P1 a P3 – um indicativo do processo de argiluvização.

À exceção do perfil P1, os demais apresentam concreções, que, de forma geral, se situam acima do horizonte plíntico. As concreções apresentam formato irregular, superfícies arestadas ou não, consistência dura e aspecto ferruginoso. Esse material é resultante do endurecimento irreversível da plintita. A quantidade de concreções é superior a 5 % por volume, porém não é suficiente para caracterizar a presença de horizonte concrecionário, 50 % ou mais de petroplintita (Embrapa, 2006), e os horizontes onde ocorrem têm espessura menor que 30 cm.

Atributos físicos

Quanto à composição granulométrica (Quadro 2), exceto pelo perfil P1, os teores de argila são inferiores a 270 g kg⁻¹, o que está relacionado à natureza do

material de origem. Os teores de silte são elevados, quando comparados com solos mais intemperizados na região, como os Argissolos e Latossolos (Embrapa, 1986). Embora sejam verificados os maiores teores de argila nos horizontes subsuperficiais (B ou C), apenas no perfil P3 foi identificado um gradiente textural de 2,15, o que permitiria a identificação de um horizonte B textural, conforme os critérios estabelecidos pelo SiBCS (Embrapa, 2006). Nos perfis P1 e P2, os valores de gradiente textural (B/A) de 1,54 e 1,66, respectivamente, caracterizam o caráter argilúvico (Embrapa, 2006), que expressa concentração de argila no horizonte B e é identificado por gradiente superior a 1,4.

O grau de flocculação (GF) nos horizontes plínticos é baixo e somente no perfil P3 apresenta GF superior a 50 %. Para os perfis P2 e P3, o grau de flocculação no horizonte com concreções (BAC) é superior ao dos horizontes sub ou suprajacentes. Os índices de dispersão elevados nesses perfis podem ser decorrentes

Quadro 2. Granulometria e densidade dos solos estudados

Horizonte	Granulometria						Argila dispersa em água	Grau de flocculação	Densidade		
	Calhau	Cascalho	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila			Solo	Partícula	AG/AF ⁽¹⁾
	g kg ⁻¹ TFSA							%	— kg dm ⁻³ —		
Perfil P1											
A	0	0	90	200	480	230	140	39	1,40	2,70	0,45
AB	0	0	70	130	470	330	180	45	1,44	2,72	0,54
Bf1	0	0	60	80	400	460	230	50	1,49	2,64	0,75
Bf2	0	0	80	70	450	400	330	17	1,60	2,79	1,14
Perfil P2											
A	0	0	60	580	240	120	30	75	1,14	2,79	0,10
AB	0	0	30	560	240	170	100	41	1,29	2,62	0,05
BAc	190	470	60	520	190	230	100	56	-	2,64	0,11
Bf	0	0	40	470	240	250	150	40	1,39	2,59	0,08
C	0	0	100	550	190	160	110	31	-	2,63	0,18
Perfil P3											
A	0	0	60	560	280	100	30	70	1,48	2,66	0,11
AB	0	0	50	510	320	120	70	42	1,53	2,61	0,10
BAc	150	410	60	440	320	180	90	50	1,57	2,70	0,14
Btf1	0	0	40	390	310	260	150	42	1,37	2,67	0,10
Btf2	0	0	40	440	250	270	110	59	1,50	2,60	0,09
Perfil P4											
A	0	0	110	650	140	100	40	60	1,55	2,81	0,17
AC	0	0	100	620	170	110	80	27	1,48	2,59	0,16
C	0	0	90	590	170	150	100	33	1,51	2,76	0,15
Cc	110	570	100	530	100	270	190	30	-	2,60	0,19
Cf	0	0	80	530	160	230	140	39	1,42	2,71	0,15

⁽¹⁾ AG/AF: relação areia grossa/areia fina.

das condições climáticas, com forte alternância sazonal de períodos chuvosos, favorecendo a destruição de agregados do solo, como evidenciado pelo grau fraco dominante nas estruturas dos horizontes.

Os valores de densidade do solo (Ds) variaram de 1,14 a 1,60 kg dm⁻³, não tendo sido verificada correspondência entre os valores mais elevados de Ds e a presença de horizontes plínticos ou de maiores teores de areia ou argila. A porosidade total variou de 43 a 60 %, acompanhando as variações observadas na densidade.

Atributos químicos

Os perfis apresentam classe de reação do solo ácida, com valores de pH variando entre 4,4 e 5,6 (Quadro 3). Em todos os perfis observa-se redução dos valores de pH em profundidade paralelamente ao aumento dos teores de Al. Esse aumento da acidez em profundidade, decorrente possivelmente do processo de ferrólise (Brinkman, 1970), é uma tendência freqüentemente

observada em solos sujeitos a encharcamentos periódicos, como já constatado em outras regiões por Rego (1986) e van Breemen (1988) e verificado em perfis no levantamento de solos do Estado do Maranhão (Embrapa, 1986). Comportamento similar ao constatado neste estudo foi observado por Coelho & Vidal-Torrado (2003), trabalhando com perfis plínticos desenvolvidos de Arenito Bauru no oeste de São Paulo. Os autores constataram aumento da acidez em profundidade, atribuindo esse comportamento ao processo de ferrólise ao qual os horizontes eram submetidos.

Os teores de carbono orgânico (CO) no horizonte superficial (Quadro 3) foram variáveis. No perfil P1, o CO foi relativamente alto, de 25,0 g kg⁻¹, o que deve estar relacionado à textura com maior teor de argila e silte. Já o perfil P4, situado na parte mais baixa da paisagem e de textura franco-arenosa, tem baixo teor de CO (5,6 g kg⁻¹), valor limítrofe para definição do horizonte diagnóstico superficial A fraco (Embrapa,

Quadro 3. Atributos químicos e teor de carbono orgânico dos solos estudados

Horizonte	pH	CO	Cátions trocáveis				H + Al	T ⁽¹⁾	V ⁽¹⁾	m ⁽¹⁾
	H ₂ O		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺				
		g kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹						%	
Perfil P1										
A	5,6	25,0	2,6	1,4	0,4	0,0	3,5	8,0	56	0
AB	4,7	5,5	0,2	4,3	0,2	2,2	58	12,8	37	31
Bf1	5,0	5,2	0,2	2,2	0,3	4,9	2,6	10,3	27	64
Bf2	4,8	3,3	0,2	2,3	0,3	6,8	2,3	12,0	24	70
Perfil P2										
A	4,5	12,1	1,8	1,2	0,3	0,2	6,0	9,6	35	6
AB	4,7	5,3	0,3	0,3	0,3	2,5	3,5	7,0	14	71
BAC	4,5	5,7	0,3	0,4	0,3	2,9	3,8	7,8	14	72
Bf	4,5	5,5	0,3	1,6	0,3	7,7	3,2	13,2	17	77
C	4,5	2,2	0,3	2,3	0,2	10,8	1,9	15,6	19	79
Perfil P3										
A	5,0	8,1	0,9	0,9	0,2	0,2	2,2	4,5	47	9
AB	5,0	5,5	0,8	1,1	0,1	0,0	2,7	4,8	44	0
BAC	5,0	3,1	0,5	2,4	0,2	0,4	2,2	5,8	55	11
Btf1	5,0	3,5	0,3	2,7	0,3	3,4	2,0	8,8	39	50
Btf2	4,4	2,4	0,7	2,1	0,3	5,1	2,5	10,8	30	61
Perfil P4										
A	4,6	5,6	0,4	0,5	0,1	0,4	2,4	2,9	38	27
AC	4,6	2,8	0,5	0,7	0,1	0,4	2,1	3,8	34	23
C	4,6	2,3	0,4	0,6	0,1	1,6	1,7	4,4	25	59
Cc	4,7	3,7	1,2	0,8	0,2	3,4	4,1	9,7	23	61
Cf	4,8	3,4	0,2	2,8	0,2	7,9	2,5	13,7	24	70

⁽¹⁾ T: soma de Bases + (H + Al), V %: 100 SB/T, m = 100 Al³⁺/(SB + Al³⁺).

2006). O perfil P4 apresenta ainda aumento do teor de carbono orgânico nos horizontes Cc e Cf, o que está relacionado à natureza dos sedimentos de origem fluvial e a ligeiro aumento no teor de argila nestes horizontes.

Todos os perfis possuem nos horizontes plínticos maiores teores de Mg²⁺ que de Ca²⁺ (Quadro 3), fato este que parece relacionado à influência marinha no material de origem (arenito Formação Itapecuru) e à maior solubilidade do Mg em relação ao Ca. Esta hipótese, da contribuição de maiores teores de Mg²⁺ dos sedimentos de origem marinha, também foi aventada por Oliveira et al. (2003) em estudos realizados em solos planossólicos no sertão do Araripe (PE). Anjos et al. (1995), estudando a formação de solos com plintita numa topossequência no Estado do Maranhão, constataram que os íons Ca²⁺ e Mg²⁺ predominavam no complexo sortivo, com teores de Mg superiores aos de Ca.

Os perfis apresentam CTC do solo variando de 2,9 a 15,6 cmol_c kg, sendo observado domínio dos íons hidrogênio e Al no complexo de troca (Quadro 3). Quanto ao valor V %, todos os perfis apresentam baixa saturação por bases (V < 50 %) nos horizontes diagnósticos subsuperficiais, identificando o seu caráter distrófico (Embrapa, 2006). A atividade da fração argila em todos os perfis foi superior a 27 cmol_c kg⁻¹, caracterizando os solos estudados como de argila de atividade alta (Quadro 4). Embora os Plintossolos usualmente apresentem argila de atividade baixa, são admitidos nesta ordem também solos com argila de atividade alta (Embrapa, 1999, 2006).

Em todos os perfis observam-se, nos horizontes plínticos, teor de Al extraível ≥ 4 cmol_c kg⁻¹ de solo associado à atividade de argila ≥ 20 cmol_c kg⁻¹ de argila e saturação por Al ≥ 50 e saturação por bases < 50 % (Quadro 3), o que identifica o caráter alítico (Embrapa, 2006). Esses resultados encontram-se de acordo com

aqueles obtidos por Santos & Batista (1996) e Rêgo (1986) estudando Plintossolos da região meio-norte do Brasil e da Ilha de Marajó, respectivamente, os quais verificaram alto conteúdo de Al extraível associado à elevada saturação por Al (≥ 50) e baixos valores de saturação por bases ($< 50\%$).

A composição química da fração terra fina, determinada a partir do ataque sulfúrico, é apresentada no quadro 4. Os resultados de Ki observados em todos os horizontes são superiores a 2,2. Valores elevados de Ki também foram observados por Rego (1986) e Anjos et al. (1995), em Plintossolos na Ilha de Marajó e no Maranhão, respectivamente, o que indica grau de intemperização não muito elevado para os solos estudados. Segundo Oliveira (2001), solos com Ki da ordem de 2,5–3,0 apresentam presença significativa de minerais de argila 2:1 (esmectitas).

No quadro 5 são apresentados os valores de Feo, Fed e Fes e das relações estabelecidas entre as diferentes formas de Fe extraídas. Em todos os perfis, os teores de Fed e Fes são maiores nos horizontes plínticos, enquanto o Feo não apresenta relação com a presença de plintita. Em todos os perfis, a relação Feo/Fed é mais elevada nos horizontes superficiais, o que corrobora a influência da matéria orgânica, reduzindo o grau de cristalização dos óxidos de Fe pedogênicos. Segundo Schwertman & Taylor (1989), maiores conteúdos de matéria orgânica nos horizontes superficiais favorecem a complexação do Fe, estabilizando a ferridrita e, conseqüentemente, impedindo a sua transformação para formas mais estáveis de Fe. Comportamento similar foi verificado

por Anjos et al. (1995) em solos com horizontes plínticos no Maranhão. Nos horizontes plínticos são observados menores valores dessa relação, indicando maior grau de cristalinidade dos óxidos de Fe. Gamble & Daniels (1972) e Daugherty & Arnold (1982), estudando solos na região costeira da Carolina do Norte e solos com plintita na Venezuela, respectivamente, sugerem valores da relação Feo/Fed em torno de 0,05 para indicar grau de cristalinidade dos óxidos. Entretanto, neste estudo todos os horizontes plínticos apresentaram valores da relação Feo/Fed superiores a 0,05. O mesmo foi verificado por Rêgo (1986) em Plintossolos da Ilha de Marajó. Já Lima et al. (2006) encontraram valores da relação Feo/Fed abaixo de 0,50 em Plintossolo desenvolvido de sedimentos holocênicos na bacia sedimentar do Alto Solimões, na Amazônia Ocidental. Esses resultados indicam que diferenças na composição do material de origem e no ambiente pedoclimático influenciam as relações entre as formas extraíveis de Fe e o grau de cristalinidade dos óxidos.

A relação entre os teores de Fe determinados com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio e com ácido sulfúrico (Fed/Fes) indica a reserva do elemento Fe em outros grupos de minerais que, por meio da ação do intemperismo, pode ser liberado da estrutura cristalina e, eventualmente, transformar-se em óxidos (Cornell & Schwertmann, 1996). Os valores da relação Fed/Fes nos horizontes plínticos sugerem que grande parte do Fe se apresenta sob a forma de óxidos, embora uma parcela deste Fe ainda esteja fazendo parte da estrutura cristalina dos minerais primários presentes, em especial da biotita.

Quadro 4. Composição química da fração terra fina, Ki e atividade da fração argila em alguns horizontes

Horizonte	Ataque sulfúrico (H ₂ SO ₄ 1:1)			Ki	Atividade da argila ⁽¹⁾
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	
	g kg ⁻¹				cmol _c kg ⁻¹
	Perfil P1				
A	23,4	17,7	7,0	2,52	-
Bf2	88,8	58,1	20,3	2,94	36,3
	Perfil P2				
A	29,9	14,8	7,0	3,91	-
Bf	90,2	65,2	30,1	2,66	42,9
C	65,9	43,4	18,9	2,93	-
	Perfil P3				
A	18,2	13,2	5,6	2,68	-
Btf2	75,2	52,8	16,1	2,74	36,0
	Perfil P4				
A	16,8	9,7	2,1	3,36	-
C	29,9	17,0	4,9	3,37	-
Cf	67,8	30,7	11,9	4,24	52,9

⁽¹⁾ Estimada segundo Embrapa (1999, 2006).

Quadro 5. Formas extraíveis de ferro na fração terra fina e suas relações em alguns horizontes dos perfis estudados

Horizonte	Fes ⁽¹⁾	Fed ⁽²⁾	Feo ⁽³⁾	Fes	Fed	Fed	Feo
				Argila	Argila	Fes	Fed
g kg ⁻¹							
Perfil P1							
A	7,0	2,4	1,5	0,05	0,02	0,34	0,62
Bf2	20,3	17,5	1,6	0,07	0,06	0,86	0,09
Perfil P2							
A	7,0	4,2	2,1	0,06	0,03	0,60	0,50
Bf	30,1	15,4	2,1	0,12	0,06	0,51	0,14
C	18,9	11,8	1,1	0,12	0,07	0,62	0,09
Perfil P3							
A	5,6	2,8	1,8	0,06	0,03	0,50	0,64
Btf2	16,1	12,0	1,0	0,06	0,04	0,75	0,08
Perfil P4							
A	2,1	1,0	0,8	0,02	0,01	0,48	0,80
C	4,9	3,5	1,5	0,03	0,02	0,71	0,43
Cf	11,9	11,9	1,5	0,05	0,05	1,00	0,13

⁽¹⁾ H₂SO₄ 1:1. ⁽²⁾ ditionito-citrato-bicarbonato. ⁽³⁾ oxalato de amônio.

Quanto à relação Fed/Argila, verifica-se que ela aumenta ligeiramente em profundidade, indicando possível segregação dos óxidos de Fe da matriz do solo durante o processo de formação da plintita (Rêgo, 1986). Blume & Schwertmann (1969) sugerem que uma relação uniforme indica que a argila e os óxidos de Fe estão sendo mobilizados conjuntamente.

Atributos mineralógicos

A mineralogia da fração areia indicou predomínio absoluto de quartzo, com exceção dos horizontes Cf dos perfis P3 e P4. Nestes horizontes há predomínio de material concrecionário ou nodular argiloso ou argiloferruginoso com coloração amarelada (10 YR 6/6 e 6/8) e avermelhada (2,5 YR 4/6 e 5/8), o que sugere a ocorrência de goethita e hematita. Em ambas as frações, areia grossa e areia fina, os grãos de quartzo são de formato subangular e subarredondado, o que pode estar relacionado ao mecanismo de transporte dos sedimentos que originaram esses solos. De forma geral, observa-se aumento da frequência do material argiloferruginoso nos horizontes com plintita, principalmente na fração areia grossa. Quanto aos demais componentes, observa-se a presença dos seguintes minerais: muscovita, biotita intemperizada, microclínio, ilmenita, turmalina, rutilo, zircão, magnetita e estauroilita. Segundo Fanning & Fanning (1989), em solos com plintita formados a partir de material de origem sedimentar podem ser encontrados minerais primários facilmente intemperizáveis.

Kämpf & Curi (2003) afirmam que solos originados de arenitos podem conter minerais micáceos em quantidade. A Formação Itapecuru é constituída por arenitos de granulometria fina com estratificação cruzada e ocorrem arenitos intercalados por leitos de siltitos e folhelhos (Embrapa, 1986). Assim, a presença de micas e dos vários minerais acessórios no solo é associada à origem dos arenitos que compõem a Formação Itapecuru.

Em relação à mineralogia da fração argila (Quadro 6), para os perfis P1 e P2 verifica-se que os principais minerais são a caulinita, esmectita, vermiculita com hidróxido de Al na entrecamada (VHE), ilita, goethita e mineral interestratificado ilita/esmectita. A VHE foi evidenciada pela resistência à contração após aquecimentos sucessivos a 110 e 350 °C, sugerindo a presença de material hidroxilado entre suas camadas. No perfil P1, a esmectita e a caulinita foram os minerais predominantes na fração argila. A goethita e o mineral interestratificado ocorreram em quantidade insignificante. Já em P2 a caulinita foi o mineral predominante. O perfil P3 apresentou caulinita, esmectita, VHE e ilita; neste perfil observa-se também o predomínio de caulinita em comparação aos demais constituintes da fração argila. O perfil P4 apresentou composição mineralógica similar à dos perfis P1 e P2, sendo a caulinita o mineral predominante.

De acordo com Kämpf & Curi (2003), a formação e preservação de minerais do grupo da esmectita são

Quadro 6. Minerais identificados na fração argila dos horizontes plínticos

Perfil Horizonte		Mineralogia de argila ⁽¹⁾
P1	Bf2	Esmectita, Caulinita, Ilita, VHE, Goethita e mineral interestratificado ilita/esmectita
P2	Bf	Caulinita, Esmectita, Ilita, Goethita e VHE
P3	Btf2	Caulinita, Esmectita, VHE e Ilita
P4	Cf	Caulinita, Esmectita, VHE e Ilita

⁽¹⁾ VHE: vermiculita com hidróxido de Al na entrecamada. Os minerais estão listados em ordem decrescente de expressão na fração argila.

favorecidas em pedoambientes com drenagem restrita ou não, com suprimento de soluções ricas em Si, Al, Mg, Fe e lixiviação mínima. Em todos os perfis, os teores de Si e Mg nos horizontes plínticos indicam que condições favoráveis à preservação parcial da esmectita e de minerais interestratificados ilita/esmectita estão presentes no solo. No perfil P4, além da atividade da sílica e disponibilidade de cátions básicos, a drenagem imperfeita, com lençol freático elevado em alguma parte do ano, é ainda mais propícia à presença de argilas 2:1. Apesar do ambiente equatorial, as condições alternadas de chuvas intensas e período prolongado de seca no Maranhão favorecem a preservação de minerais de argila de maior atividade em solos com restrição interna à drenagem, como nos Plintossolos.

Classificação dos solos

Todos os solos foram classificados no primeiro nível categórico (ordem) como Plintossolos, por atenderem aos seguintes critérios (Embrapa, 2006): apresentarem horizonte plíntico dentro de 40 cm da superfície (P1); ou dentro de 200 cm, precedido de horizonte com cores pálidas de matiz 10YR e croma menor ou igual a 4 (P2 e P4); ou precedido de horizonte com mosqueados em quantidade abundante (P3).

Quanto ao segundo nível categórico (subordem), os perfis P1 e P2 apresentam caráter argilúvico e no perfil P3 foi identificado gradiente que enquadra o horizonte B também como textural; logo, foram classificados como Plintossolos Argilúvicos. O perfil P4, por não apresentar outro horizonte diagnóstico além do plíntico, foi classificado como Plintossolo Háplico.

No terceiro nível categórico (grande grupo), por apresentarem caráter alítico na maior parte do horizonte B ou C, os perfis P1 e P2 foram classificados como Plintossolos Argilúvicos Alíticos, e o P4, como Plintossolo Háplico Alítico. Quanto ao perfil P3, apesar de atender às exigências para o caráter alítico no horizonte Bf2, o mesmo não ocorre no horizonte Bf1; portanto, ele foi classificado como Plintossolo Argilúvico Distrófico. No quarto nível categórico (subgrupo), o perfil P1 foi classificado como típico, e os perfis P2, P3 e P4, como petroplínticos, devido à

presença de caráter concrecionário (Embrapa, 2006) dentro de 200 cm da superfície do solo.

CONCLUSÕES

1. As classes inseridas no SiBCS em 2006, para a ordem dos Plintossolos, foram adequadas para classificar os perfis de solos estudados e contemplam as variações relacionadas ao ambiente de formação dos perfis em função da posição na paisagem e do material de origem. O perfil P1, no terço superior da encosta, foi classificado como Plintossolo Argilúvico Alítico típico, expressando a intensidade do processo de plintitização associado ao de argiluvização. Já o perfil P4, no sopé da encosta, foi classificado como Plintossolo Háplico Alítico petroplíntico, e a drenagem imperfeita e a deposição de sedimentos mais arenosos influenciaram a diferenciação de horizontes.

2. A presença do caráter alítico em todos os solos indica um ambiente diferenciado de material de origem e pedoclima na formação de Plintossolos no Estado do Maranhão, conduzindo à manutenção de condições que favorecem a preservação de argilominerais de maior atividade juntamente com elevada acidez do solo.

LITERATURA CITADA

- ANJOS, L.H.C.; FRANZMEIER, D.P & SCHULZE, D.G. Formation of soil with plinthite on a topossequence in Maranhão State, Brazil. *Geoderma*, 64:257-279, 1995.
- BATISTA, M.A. & SANTOS, M.C. Morfologia e gênese de dois solos com plintita da região meio-norte do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:287-296, 1995.
- BLUME, H.P. & SCHWERTMANN, U. Genetic evaluation of distribution of aluminum, iron, and manganese oxides. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 33:438-444, 1969.
- BRINKMAN, R. Ferrolysis, a hydromorphic soil forming process. *Geoderma*, 3:199-206, 1970.
- COELHO, M.R. & VIDAL-TORRADO, P. Caracterização e gênese de perfis plínticos desenvolvidos de arenito do Grupo Bauru I. *Química. R. Bras. Ci. Solo*, 27:483-494, 2003.

- COELHO, M.R.; VIDAL-TORRADO, P. & LADEIRA, F.S.B. Macro e micromorfologia de ferricretes nodulares desenvolvidos de arenito do Grupo Bauru, Formação Adamantina. R. Bras. Ci. Solo, 25:371-385, 2001.
- CORNELL, R.M. & SCHWERTMANN, U. The iron oxides; structure, properties, reactions, occurrence and uses. Weinheim, VCH, 1996. 573p.
- DAUGHERTY, L.A. & ARNOLD, R.W. Mineralogy and iron characterization of plinthic soils on alluvial landforms in Venezuela. Soil Sci. Soc. Am. J., 46:1244-1252, 1982.
- DRIESSEN, P.M. & DUDAL, R. Lecture notes on the geography, formation, properties and use of the major soils of the world. Wageningen, Agricultural University / Katholieke, Universiteit Leuven, 1989. 296p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solos. 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, 1999. 412p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro. Levantamento exploratório-reconhecimento de solo do Estado do Maranhão. 1986. 2v. (Boletim de Pesquisa, 35)
- FANNING, D.S. & FANNING, M.C.B. Soil morphology, genesis and classification. New York, John Wiley & Sons, 1989. 395p.
- GAMBLE, E.E. & DANIELS, R.B. Iron and silica in water acid ammonium oxalate and dithionite extracts of some North Carolina Coastal Plain. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 36:934-943, 1972.
- KÄMPF, N. O ferro no solo. In: REUNIÃO SOBRE FERRO EM SOLOS INUNDADOS, 1., Goiânia, 1988. Anais. Goiânia, Embrapa/CNPAF, 1988. (Documentos, 22)
- KÄMPF, N. & CURI, N. Argilominerais em solos brasileiros. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S. & ALVAREZ V., V.H., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p.1-54.
- LEMONS, R.C. & SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 3.ed. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Embrapa - CNPS, 1996. 83p.
- LIMA, H.N.; MELLO, J.W.V.; SCHAEFER, C.E.G.R.; KER, J.C. & LIMA, A.M.N. Mineralogia e química de três solos de uma toposeqüência da bacia sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. R. Bras. Ci. Solo, 30:59-68, 2006.
- MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. Iron oxides removal from soils and clays by a dithionite-citrate-bicarbonate system buffered with sodium bicarbonate. Clays Clay Miner., 7:317-327, 1960.
- MUNIZ, F.H. A vegetação da região de transição entre a Amazônia e o Nordeste, diversidade e estrutura. In: MOURA, E.G., coord. Agroambientes de transição entre o trópico úmido e o semi-árido do Brasil. São Luis, Universidade Estadual do Maranhão, 2004. p.53-69.
- OLIVEIRA, J.B. Pedologia aplicada. Jaboticabal, FUNEP, 2001. 414p.
- 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.
- OLIVEIRA, L.B.; RIBEIRO, M.R.; FERRAZ, F.B. & JACOMINE, P.K.T. Classificação de solos planossólicos do sertão do Araripe (PE). R. Bras. Ci. Solo, 27:685-693, 2003.
- RÊGO, R.S. Caracterização e gênese de solos com plintita na Ilha de Marajó. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1986. 156p. (Tese de Mestrado)
- SANTOS, M.C. & BATISTA, M. Avaliações física, química e mineralógica em solos plínticos da região meio-norte do Brasil, submetidos a teste de umedecimento e secagem. R. Bras. Ci. Solo, 20:21-31, 1996.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J. & ANJOS, L.H.C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 92p.
- SCHULZE, D.G. The influence of aluminum on iron oxides. VII. Unit-cell dimensions of Al-substituted goethites and estimation of Al from them. Clays Clay Miner., 32:27-39, 1984.
- SCHWERTMANN, U. Differenzierung der eisenoxide des bodens durch photochemische extraktion mit saurer ammoniumoxalate-Lösung. Z. Pflanzenernähr, 105:194-202, 1964.
- SCHWERTMANN, U. & TAYLOR, R.M. Iron oxides. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. Minerals in soil environments. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.379-438.
- UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO – UFRRJ. Levantamento semi-detalhado de solos e aptidão agrícola das terras no município de Pinheiro, MA – Relatório técnico. Rio de Janeiro, ITERMA/SECINTER., 1986. 112p.
- van BREEMEN, N. Long-term chemical, mineralogical, and morphological effects of iron-redox process in periodically flooded soils. In: STUCKI, J.W.; GOODMAN, B.A. & SCHWERTMANN, U., eds. Iron in soils and clay minerals. Dordrecht, D. Reidel, 1988. p.811-823.