

Atributos de solos hidromórficos no Pantanal Norte Matogrossense

Elaine de Arruda Oliveira CORINGA¹, Eduardo Guimarães COUTO², Xosé Luis Otero PEREZ³,
Pablo Vidal TORRADO⁴

RESUMO

Os solos hidromórficos, comuns na Amazônia e no Pantanal, estão sujeitos à alternância natural de períodos de alagamento e secamento, que conduzem a uma formação e características diferenciadas. Estes solos guardam estreita relação com a natureza do material de origem e com os processos de deposição e sedimentação. O objetivo neste trabalho foi avaliar as características químicas, morfológicas e mineralógicas de três perfis de solos do Pantanal Norte Matogrossense (Planossolo, Plintossolo e Gleissolo), a fim de interpretar as relações entre suas propriedades e o ambiente em que foram formados. Os Planossolos e Gleissolos possuem maior fertilidade natural, evidenciada pelos valores expressivos de CTC (capacidade de troca de cátions) e saturação por bases. Os menores teores de Fe_2O_3 do Planossolo estão relacionados com a redução e remoção do Fe durante sua gênese. A mineralogia da fração areia dos solos é constituída principalmente de quartzo, nódulos e concreções de Fe e de Mn, e em menor grau, biotita, muscovita e traços de turmalina, magnetita, ilmenita, epidoto, zircão e rutilo. Os solos apresentaram perfil mineralógico semelhante na fração argila, constituído por caulinita, esmectita, illita e interstratificados do tipo illita-smectita. A mineralogia da fração argila dos solos foi compatível com as diferenças químicas constatadas entre eles, pois o Planossolo apresentou argila de maior atividade relativa às esmectitas e interstratificados illita/esmectita, com maior soma de bases trocáveis e CTC, enquanto o Plintossolo e o Gleissolo, cujo mineral predominante foi a caulinita, apresentaram baixo teor de bases trocáveis e menor CTC.

PALAVRAS-CHAVE: hidromorfismo, planície de inundação, illita, argila de alta atividade.

Attributes of the hydromorphic soils in the Pantanal of North Matogrosso

ABSTRACT

The hydromorphic soils, common in the Amazon and the Pantanal, are subject to alternating periods of natural flooding and drying, leading to formation and differentiated characteristics. These soils are closely related to the nature of the sediments, a consequence of the source material and the processes of deposition and sedimentation. The objective of this study was to evaluate the chemical, mineralogical, and morphological profiles of three soils in the North Brazilian Pantanal North (Solonetz, Plinthosol and Gleysol) in order to interpret the relations between their properties and the environment in which they were formed. The Solonetz and Gleysol have higher fertility, as evidenced by the significant values of CEC (cation exchange rate) and base saturation. The lowest levels of Fe_2O_3 in the Solonetz are related to the reduction and removal of Fe during its genesis. The mineralogy of sand fraction consists mainly of quartz, nodules and concretions of Fe and Mn and to a lesser extent, biotite, muscovite and traces of tourmaline, magnetite, ilmenite, epidote, zircon and rutile. The soil profile was similar in clay mineralogy, consisting of kaolinite, smectite, illite and interstratified illite-smectite type. The clay mineralogy of soils was consistent with the observed chemical differences between them, as the clay Planossolo showed greater activity on smectite and interstratified illite / smectite, with greater total exchangeable bases and CEC, while the Plinthosol and Gleysol, whose predominant mineral was kaolinite, showed a low content of exchangeable bases and lower CEC.

KEYWORDS: hydromorphism, floodplains, illite, high activity clay.

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – Campus Cuiabá Bela Vista, Av. Juliano Costa Marques, s/n, Bela Vista – Cuiabá – MT, Brasil. Email: elaine.coringa@blv.ifmt.edu.br.

² Departamento de Solos e Eng^a Rural, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, Av. Fernando Correa, s/n, Coxipó – Cuiabá – MT, Brasil. Email: couto@ufmt.br

³ Departamento de Edafologia e Química Agrícola da Universidade de Santiago de Compostela. Faculdade de Biología – Santiago de Compostela, Espanha. Email: xl.otero@usc.es

⁴ Departamento de Ciência do Solo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ, Universidade de São Paulo – Piracicaba-SP, Brasil. Email: pablo@esalq.usp.br

INTRODUÇÃO

O Pantanal é uma das maiores extensões de áreas alagáveis do mundo, cuja posição geográfica representa um grande interstício entre os biomas da Amazônia (ao norte), o Chaco (ao sudoeste), o Cerrado (leste, norte e sul), a Mata Atlântica (sul) e o Bosque Seco Chiquitano (noroeste) (Ab'Saber 1988). Constitui uma complexa zona tropical úmida caracterizada por grandes inundações anuais, cujos solos estão sujeitos a uma alternância natural de períodos de alagamento e secamento, que conduzem ao domínio territorial de solos hidromórficos. Estes solos guardam estreita relação com a natureza dos sedimentos depositados, conseqüência da natureza do material de origem e dos processos de deposição/sedimentação (Assine e Soares 2004).

Geologicamente, os solos dessa região desenvolveram-se a partir de sedimentos inconsolidados arenosos, argilosos e orgânicos, depositados ao longo do período Quaternário. Segundo Fernandes *et al.* (2007), a maior parte da área é formada por sedimentos depositados no Cenozóico, constituindo a Formação Pantanal, os depósitos detríticos dos planaltos residuais e circundantes do Pleistoceno, e pelos depósitos de planície de inundação dos rios, que ocorreram no Holoceno. A Formação Pantanal é constituída por depósitos aluvionares constituídos de vasas, arenitos e argilas (Oliveira e Leonardos 1943), subdividida em três unidades, segundo Corrêa *et al.* (1976): a unidade mais antiga representa a planície aluvial com sedimentos de natureza arenosa e conglomerática, como arenitos conglomeráticos ou conglomerados polimíticos, de coloração pardacenta variada, semiconsolidados, bastante porosos, compostos predominantemente de fragmentos angulosos de rocha e quartzo, cimentados por material ferruginoso e matriz composta por argilas caulínicas, e compreende as áreas de topografia mais elevada; a segunda unidade é formada por sedimentos argilo-arenosos pardacentos, semiconsolidados, porosos, cimentados por material ferruginoso, macroscopicamente homogêneos, com estratificação

incipiente, e corresponde à parte periodicamente alagável da planície pantaneira. Já a terceira unidade da Formação Pantanal corresponde aos depósitos aluvionares essencialmente fluviais, restritos às margens e calhas dos principais rios da planície do Pantanal, como os rios Paraguai, Nabileque e Aquidabã, sendo de natureza predominantemente areno-argilosa.

Devido à sua geomorfologia aliada ao regime hídrico, a região do Pantanal apresenta características pedológicas específicas, e é formada por solos com características diferenciadas que devem ser levadas em consideração por ocasião de sua utilização.

Parte significativa dos solos do Pantanal permanece saturada ou inundada por períodos que podem variar de alguns dias a vários meses, como resultado das inundações sazonais decorrentes da elevação do nível das águas durante o período de cheia dos rios da região, ou de elevadas precipitações pluviais, de restrições de drenagem ou da elevação do nível do lençol freático. Por isso, a ocorrência dos solos hidromórficos é generalizada em toda a região, e as características morfológicas destes solos advêm, principalmente, dos processos de redução e oxidação do ferro e manganês, que ainda lhes conferem cores distintas.

Os processos pedogenéticos mais comuns nestes solos são a gleização e plintização, responsáveis pelas cores cinzentas no todo ou em algumas partes do perfil (Couto e Oliveira 2010). Em decorrência desses processos, a Formação Pantanal apresenta grande diversidade de solos, como os Planossolos, Plintossolos, Gleissolos, Cambissolos Flúvicos, Neossolos, Luvissolos e Vertissolos (Couto *et al.* 2002).

As características mineralógicas e químicas desses solos são, em grande parte, ditadas pela natureza do material de origem e do regime de inundações periódicas, conferindo aos solos características diferenciadas, como alta saturação de sódio e, em alguns casos, de alumínio, textura variável em decorrência do tipo de sedimento depositado

e riqueza em argilas expansivas (Fernandes *et al.* 2007). Além disso, os solos estão sujeitos à adição ou perda de materiais inorgânicos e orgânicos em solução e na forma particulada, especialmente por fluxos laterais (Bertsch e Seaman 1999), que altera o equilíbrio dos elementos e dos compostos no solo.

A inundação periódica causa decréscimo no potencial eletroquímico do solo (Lima *et al.* 2006), propiciando a alternância nas condições de redução e oxidação dos óxidos de ferro e manganês e alterando a sua solubilidade no solo. Este fenômeno influencia as características morfológicas dos solos, levando à segregação do ferro e à formação de zonas enriquecidas em ferro, produzindo uma coloração característica nos perfis (Vepraskas e Faulkner 2001; van Bodegom *et al.* 2003) com mosqueados marrom, cinza, azul, preto e amarelo, freqüentemente observados em solos hidromórficos (Fanning e Fanning 1989). Esses ambientes também podem conter concentrações de Fe-Mn na forma de concreções macroscópicas e nódulos variáveis quanto ao diâmetro e formato, comuns em solos com ferrólise (D'Amore *et al.* 2004; Vepraskas *et al.* 2006). Os horizontes do solo podem também ser escurecidos devido à acumulação de matéria orgânica, pois os organismos anaeróbios são menos eficientes na mineralização da matéria orgânica do que os aeróbios. Além disso, os processos de redução envolvem, freqüentemente, a produção ou o consumo de H⁺ e assim, têm também importante efeito sobre o pH do solo. Como resultado, esses solos têm maiores concentrações de nutrientes disponíveis para as plantas, como o Fe e o Mn (no estado reduzido), do que solos bem drenados.

Este trabalho teve como objetivo caracterizar solos hidromórficos representativos do Pantanal através da análise dos atributos físicos, químicos, morfológicos e mineralógicos.

MATERIAL E MÉTODOS

A região estudada é uma sub-região do Pantanal Norte Matogrossense, denominada Pantanal de Poconé (Figura 1), sob vegetação de savana (cerrado) dominante, clima

Aw-tropical úmido, segundo classificação de Koppen, e precipitação média anual de 1.200 mm, com temperatura média de 22 a 32 °C, e 100 a 150 metros de altitude (Hasenack *et al.* 2003).

Três perfis de solos foram selecionados a partir do levantamento detalhado realizado por Couto *et al.* (2002), situados em posições distintas na paisagem. Os perfis foram observados através de trincheiras abertas ao longo da rodovia MT 370, 50 km ao sul de Cuiabá, no trecho que liga o município de Poconé-MT ao Hotel Sesc Porto Cercado.

Os solos foram classificados por Couto *et al.* (2002) como: Plintossol O Argilúvico alítico típico (16°22'44,3"S e 56°27'02,3"W), Planossolo Háplico eutrófico típico (16°30'13,6"S e 56°24'18,7"W) e Gleissolo Háplico alítico argissólico (16°30'7,0"S e 56°24'51,1"W), segundo Embrapa (2006). O Plintossolo foi amostrado em área plana de campo inundável sob pastagem natural (*Paratheria prostrata* Grisibag e *Setaria geniculata* (Lam.) Beauv.), o Planossolo encontra-se em área plana em topo de cordilheira sob Bacurizal (*Scheelea*

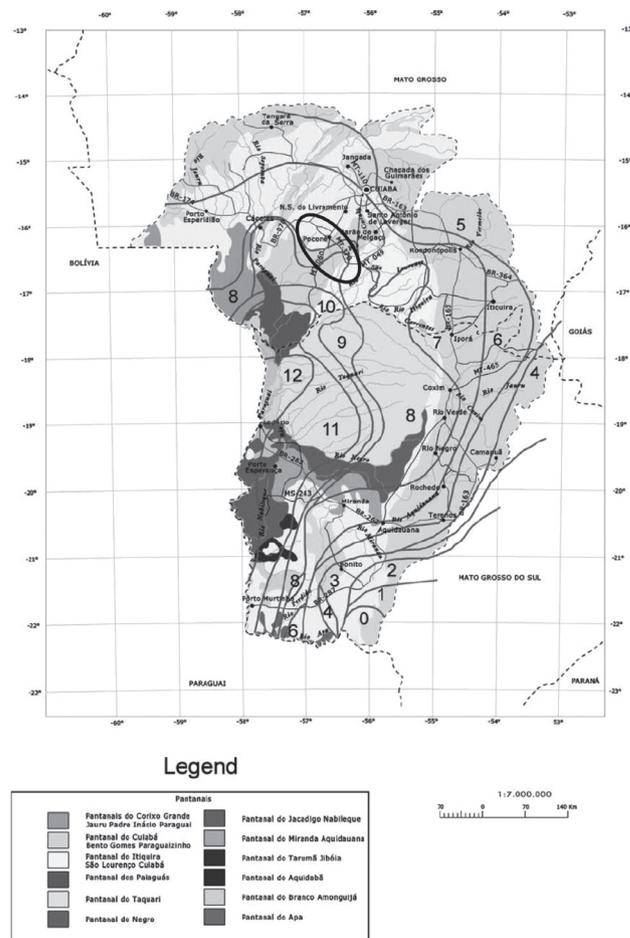


Figura 1 - Pantanal Matogrossense e sub-regiões (Couto e Oliveira 2010).

phalerata (Mart.) e o Gleissolo ocorre em área plana sob vegetação de Paratudal (*Tabebuia aurea* (Manso)) (Figura 2).

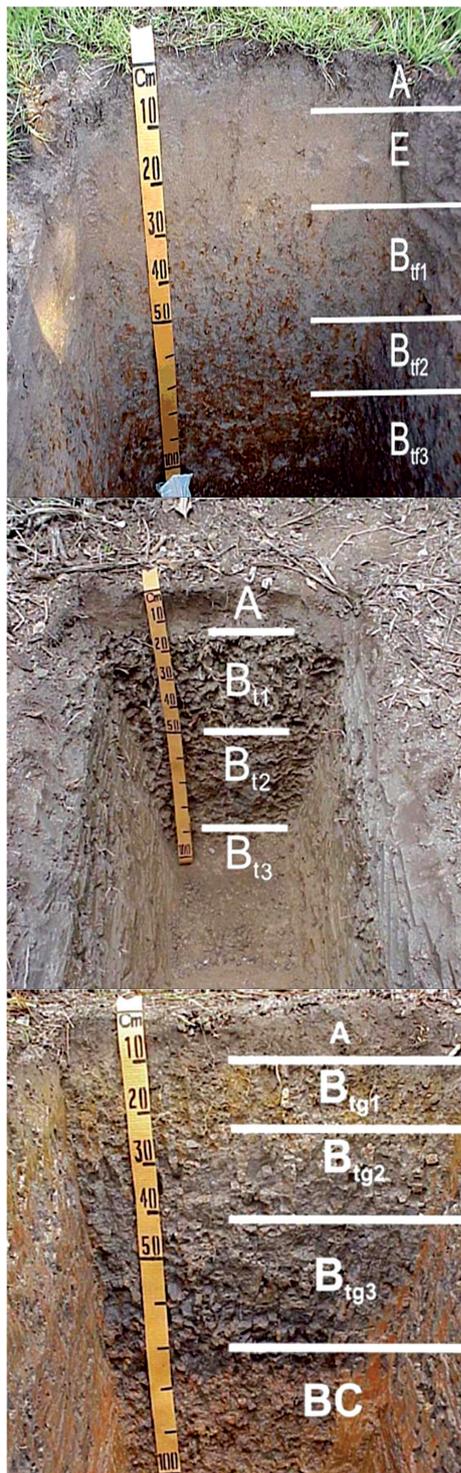


Figura 2 - Perfis dos solos estudados: (a) Plintossolo Argilúvico alítico típico; (b) Planossolo Háptico eutrófico típico; (c) Gleissolo Háptico alítico argissólico.

As análises físicas e químicas foram realizadas de acordo com Embrapa (1997) e Camargo *et al.* (1986) em amostras secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de malha 2 mm (terra fina seca ao ar - TFSA). As análises realizadas foram: distribuição granulométrica pelo método da pipeta e o teor de argila dispersa em água, pH em H₂O e em KCl 1 mol L⁻¹, teor de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, Al³⁺, P, teor de carbono orgânico total e acidez potencial (H+Al). O teor de óxidos totais (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, P₂O₅, MnO) foi obtido por ataque sulfúrico, os elementos Si, Al, Ti e P determinados por colorimetria, e Fe e Mn por espectrofotometria de absorção atômica. Foram calculadas a soma de bases trocáveis (SB), a capacidade de troca de cátions (T) em pH 7, a porcentagem de saturação por bases (V) e por Al³⁺ (m), e as relações moleculares Ki (SiO₂x1,70/Al₂O₃) e Kr ((SiO₂/0,6)/(Al₂O₃/1,02)+(Fe₂O₃/1,6)).

As análises mineralógicas da fração argila (<0,002 mm) em lâminas orientadas foram realizadas em condições naturais (amostra total e fração areia) e após deferrificação das amostras com ditionito-citrato-bicarbonato (Mehra e Jackson 1960), saturação com K e aquecimento em mufla a 110 , 350 e 550 °C por 2 horas, e com Mg e solvatação em etilenoglicol (Moore e Reynolds 1989), em difratômetro de Raios X marca SEIFERT-FPM modelo: XRD 7, energia de irradiação 40 KV e 30 mA, com intervalo de varredura de 2° a 45° (20).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características morfológicas

A textura do horizonte superficial dos solos varia de franco-arenosa (Plintossolo) a franco-argilosa (Gleissolo), com aumento de argila em profundidade principalmente no Gleissolo (Quadro 1).

Em todos os perfis, nos horizontes superficiais predomina a estrutura em blocos subangulares, sendo que nos horizontes subsuperficiais é verificada maior expressão de estrutura prismática no Planossolo e no Gleissolo, indicativo da presença de argilominerais do tipo 2:1. A consistência desses solos é extremamente dura, muito plástica e muito pegajosa, corroborando a afirmação acima.

Verificou-se o predomínio da matriz 10YR (bruno-acinzentado a cinza) nos horizontes dos solos, típico de ambientes hidromórficos, com exceção dos horizontes B_{tf2} e B_{tf3} do Plintossolo, que apresentam coloração variegada (matiz 5YR) devido aos mosqueados de plintita nesses horizontes, resultantes do processo pedogenético de plintização. A coloração acinzentada da matriz dos solos é resultante da redução dos compostos de ferro em presença de matéria orgânica, com ou sem alternância de oxidação, por efeito de flutuação do nível do lençol freático, em condições de regime de excesso de umidade permanente ou periódico.

Quadro 1 - Características morfológicas dos perfis de solos.

Horiz.	Prof. cm	Cor Munsell		Estrutura	Consistência	Textura
		Matriz	Mosqueados			
Perfil 01 - Plintossolo Argilúvico alítico típico						
A	0-10	Bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, úmida)	Pouco, pequeno e distinto amarelo avermelhado em torno dos canais de raízes;;	Fraca, pequena, blocos subangulares	Macia, firme, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa;	franco-arenoso fino;
E	10-24	Bruno (10YR 5/3, úmida)	Abundante, muito pequeno e proeminente, bruno avermelhado (5YR 5/4, úmida);	Maciça com tendência de formação de blocos subangulares;	Friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa;	franco-argilo-arenoso fino;
B ₁₁	27-52	cinzento-brunado-claro (10 YR 6/2, úmida)	Comum, médio e proeminente, bruno avermelhado (5YR 4/4, úmida);	Fraca, pequena a média, blocos subangulares;	Muito dura, firme, plástica, pegajosa	franco-argilo-arenoso;
B ₁₂	52-73	Variegada constituída das cores vermelho-amarelado (5 YR 4/6, úmida) e cinzento-brunado-claro (10 YR 6/2)		Moderada, pequena a média, blocos subangulares	Muito dura, muito firme, plástica, pegajosa;	franco-argiloso
B ₁₃	73-103+	Variegada constituída das cores vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmida) e cinzento brunado-claro (10 YR 6/2) e com pontos de manganês de cor preta (10YR 2/1) no topo do horizonte		Moderada, média, blocos subangulares com parte maciça correspondente aos nódulos de manganês	Firme com pontos muito duros correspondente às áreas com manganês, plástica, pegajosa.	franco-argiloso;
Perfil 02 - Planossolo Háptico eutrófico típico						
A	0-14	bruno-acinzentada muito escuro (10YR 3/2, úmida)		Moderada, pequena, blocos subangulares e pequena, média, granular;	Firme, plástica, ligeiramente pegajosa	Franco;
B ₁₁	15-50	bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, úmida);	Mosqueado pouco, pequeno e médio, distinto de coloração amarelo-avermelhado (7,5 YR 6/8)	Moderada, grande, prismática, composta de moderada, grande, blocos subangulares	Extremamente dura, extremamente firme, muito plástica, muito pegajosa	Franco-argiloso;
B ₁₂	51-93	bruno (10 YR 4/3, úmida);	Mosqueado pouco, pequeno e médio, distinto, bruno-forte (7,5 YR 5/6, úmida)	Grande, prismática, composta de moderada, média/grande, blocos angulares	Extremamente dura, extremamente firme, muito plástica, muito pegajosa;	Franco-argiloso
B ₁₃	94-103+	bruno-escuro (10 YR 3/3, úmida)	Mosqueado comum, pequeno e médio, distinto, bruno-forte (7,5 YR 4/6, úmida)	Grande, prismática, composta de moderada, média/grande, blocos angulares. Presença de concreções de manganês com cerca de 3,0 mm de diâmetro no B ₁₁ , B ₁₂ e topo do B ₁₃ .	Extremamente dura, extremamente firme, muito plástica, muito pegajosa	franco-argilo-arenoso;
Perfil 03 - Gleissolo Háptico alítico argissólico						
A	0-9	Cinzento muito escuro (10YR 3/1, úmida)		Moderada, pequena, blocos subangulares;	Firme, plástica, pegajosa	Franco-argilosa;
B _{1g1}	10-21	Cinzento (10 YR 6/1, úmida);	Mosqueado comum, pequeno e distinto, bruno-amarelado-escuro (10 YR 4/4, úmida);	Moderada, pequena a média, blocos angulares e subangulares, firme,	Plástica, pegajosa;	Argila;

Horiz.	Prof. cm	Cor Munsell		Estrutura	Consistência	Textura
		Matriz	Mosqueados			
B _{tg2}	22-47	Cinzento (10 YR 5/1, úmida) na face externa dos agregados	Mosqueado pouco, pequeno e proeminente, vermelho (2,5 YR 4/8, úmida);	Forte, média, prismática, composta de forte, média, blocos angulares;	Muito firme, plástica, pegajosa;	Argila;
B _{tg3}	48-73	Cinzento-escuro (10 YR 4/1, úmida) na face externa dos agregados	Mosqueado pouco, pequeno e proeminente, vermelho (2,5 YR 4/8, úmida)	Forte, média, prismática, composta de forte, média, blocos angulares;	Muito firme, plástica, pegajosa;	Muito argilosa;
BC	74-100+	Cinzento-escuro (10 YR 4,5/1) na face externa dos agregados;;	Coloração interna dos agregados variegada, constituída das cores cinzento-escuro (10 YR 4,5/1, úmida) e vermelho (2,5 YR 5/8, úmida);	Moderada, média, prismática, composta de moderada, média, blocos angulares	Muito firme, plástica, pegajosa	Argila siltosa;

Características físicas e químicas

Os solos estudados apresentam variação textural que refletiu a natureza granulométrica do material sedimentado, já que são solos que apresentam pouca evolução pedogenética. Essa variação textural é mais evidente no Planossolo e no Gleissolo, a julgar pelos valores abruptos da relação silte/argila entre os horizontes A e B (Tabela 1).

O Plintossolo e o Planossolo apresentaram baixo grau de floculação (Tabela 1), evidenciando o efeito dos argilominerais 2:1 no aumento das cargas negativas do solo, promovendo, assim, a dispersão. Esses valores foram menores no Planossolo provavelmente devido ao efeito dispersivo do sódio e magnésio trocáveis. O papel do magnésio na dispersão das argilas (ADA) é mais evidente no Planossolo, condizente com os teores elevados de cálcio e magnésio que promovem a expansão da dupla camada difusa, aumentando a argila dispersa (Uehara e Gillman 1981).

O teor de carbono orgânico total (COT) é considerado médio (Tomé Jr 1997) e decrescente em profundidade, com maior valor no horizonte A do Planossolo (14 g kg⁻¹).

O Plintossolo apresenta acidez elevada no horizonte A, enquanto que nos outros perfis a acidez é considerada média. Isso indica predomínio de cátions ácidos (H + Al) nos sítios de troca e alta saturação por Al³⁺ no Plintossolo (m > 90% nos horizontes B). Estes resultados estão de acordo Anjos *et al.* (2007) em Plintossolos do Maranhão, e com Lima *et al.* (2006) em Plintossolos da Amazônia. A acidez em profundidade, conjugada com elevados teores de Al trocável, pode ser decorrente do processo de ferrólise, geralmente observada em solos sujeitos a encharcamentos periódicos, como nos Plintossolos (Coelho *et al.* 2003; Anjos *et al.* 2007). Segundo Brinkman (1970), a ferrólise é comum em solos ácidos sujeitos à redução sazonal e ricos em ferro. Por outro lado, observou-se uma tendência à reação alcalina ao pH do solo no horizonte B₃ do Planossolo, devido à presença de teores elevados de bases trocáveis e ausência de Al³⁺ trocável.

A fertilidade natural do Planossolo foi indicada pelos maiores valores de saturação por bases (V%) e CTC a pH 7, que variam de 63 a 95% (V) e de 48,2 a 64,5 cmol_c kg⁻¹ (T) no perfil, respectivamente, caracterizando esse solo como eutrófico. Os elevados valores de saturação por bases no Planossolo também podem ser resultantes do transporte e de posterior acumulação de íons no perfil. Os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ são maiores no Planossolo e Gleissolo, com aumento gradativo de seus teores de acordo com a profundidade. Com exceção do Planossolo, os demais perfis apresentam atividade da fração argila menor que 27 cmol_c kg⁻¹ sendo caracterizados como argila de atividade baixa nos horizontes B. As variações encontradas nos valores da saturação de base (V) nos solos do Pantanal em estudo indicam a presença de diferentes níveis de hidromorfismo no ambiente, além da presença de descontinuidades sedimentológicas.

Os elevados valores de CTC dos Planossolos e Gleissolos encontram-se condizentes com as feições morfológicas dos solos, em que a presença de superfícies de fricção ("slickensides"), a consistência e a estrutura mostram a participação de minerais de argila 2:1, confirmada pela Difractometria de Raios-X e pelos dados da relação Ki.

O magnésio apresentou-se como o principal contribuinte das bases trocáveis, seguido pelo cálcio, refletindo, assim, a natureza do material de origem sedimentar rico em micas, principalmente no Planossolo.

Com relação aos óxidos totais extraídos pelo ataque sulfúrico, a sílica (SiO₂) é dominante em todos os solos, com maiores valores no Gleissolo, especialmente no horizonte B_{tg3} (249 g kg⁻¹). O Gleissolo também apresenta maiores valores de Al₂O₃ e Fe₂O₃, com valores entre 81 e 196 g kg⁻¹ e de 25 a 63 g kg⁻¹, respectivamente (Tabela 2). Os teores destes óxidos são mais elevados nos horizontes B dos solos, mostrando uma distribuição geoquímica esperada para elementos pouco móveis.

A distribuição do Fe₂O₃ nos solos pode estar relacionada à presença de formas mais cristalinas de óxidos de ferro (Lima

Tabela 1 - Resultados das análises físicas e químicas dos solos.

Hor.	Prof.	Composição granulométrica				S/A	GF ² %	pH			Complexo sortivo										COT g kg ⁻¹			
		Areia	Silte	Argila	ADA ¹			H ₂ O	KCl	Ca	Mg	K ⁺	Na ⁺	SB ³	Al ³⁺	H ⁺	T ⁴	Ta/Tb ⁵	V ⁶	m ⁷				
		g kg ⁻¹				cmol _c kg ⁻¹																	%	g kg ⁻¹
Plintossolo Argilúvico alítico típico																								
A	0-10	542	276	182	162	1,5	11	4,3	3,8	0,5	0,6	0,17	0,0	1,3	1,2	4,8	7,3	40,1	18	48	13,0			
E	11-27	520	278	202	0	1,4	0	4,6	3,8	0,1	0,2	0,06	0,0	0,4	2,3	2,6	5,3	26,2	8	86	3,9			
B _{tf1}	28-52	463	270	267	0	1,0	0	4,9	3,8	0,1	0,1	0,07	0,0	0,3	3,8	3	7,1	26,6	4	93	3,2			
B _{tf2}	53-73	374	299	327	0	0,9	0	5,0	3,8	0,1	0,2	0,07	0,0	0,4	4,9	3,5	8,8	26,9	5	92	2,1			
B _{tf3}	74-103+	368	305	327	0	0,9	0	5,3	3,8	0,2	0,6	0,08	0,1	0,9	4,4	3,4	8,7	26,6	10	83	1,1			
Planossolo Argilúvico eutrófico típico																								
A	0-14	471	346	183	183	1,9	0	5,3	4,5	4,7	2,3	0,21	0,1	7,3	0,1	4,4	11,8	64,5	62	1	14,0			
B _{t1}	15-50	292	317	391	371	0,8	5	6,1	4,1	7,2	8,1	0,23	0,5	16,0	0,2	3	19,2	49,1	83	1	3,7			
B _{t2}	51-93	353	319	328	328	1,0	0	6,8	4,8	5,8	7,7	0,17	0,6	14,2	0,1	1,5	15,8	48,2	90	1	2,6			
B _{t3}	94-103+	586	191	224	224	0,9	0	8,1	6,1	4,1	5,9	0,10	0,5	10,6	0	0,5	11,1	49,6	95	0	1,1			
Gleissolo Háptico alítico argissólico																								
A	0-9	262	412	326	265	1,3	19	5,1	3,9	2,0	1,7	0,20	0,1	4,0	1,1	6,6	11,7	35,9	34	21	12,0			
B _{tg1}	10-21	184	346	470	0	0,7	100	5,3	3,8	2,1	1,3	0,12	0,2	3,7	1,7	5,2	10,6	22,6	35	32	6,8			
B _{tg2}	22-47	91	310	599	0	0,5	100	5,4	3,7	2,2	2,5	0,13	0,4	5,2	4,6	6,4	16,2	27,0	32	47	6,7			
B _{tg3}	48-73	56	325	619	0	0,5	100	5,6	3,7	2,3	2,8	0,13	0,5	5,7	5,2	5,6	16,5	26,7	35	48	6,6			
BC	74-100+	39	469	492	0	1,0	100	5,8	3,7	3,6	4,5	0,14	0,6	8,9	2,4	4,6	15,9	32,3	56	21	2,9			

¹Argila dispersa em água; ² Grau de flocculação; ³Soma de bases = Mg²⁺ + Ca²⁺ + Na⁺ + K⁺; ⁴CTC a pH 7; ⁵Atividade da fração argila = CTC X 100/ %argila; ⁶Saturação por bases = 100 x SB/T; ⁷ Saturação por alumínio = 100 x Al³⁺/T.

et al. 2005) e nódulos de ferro e manganês (Humphries et al. 2010) nos horizontes inferiores, e à perda de ferro nos horizontes superficiais pelo processo de redução, comum em ambientes mal drenados como o Pantanal, onde o ferro na forma reduzida torna-se bastante solúvel e passível de ser lixiviado. Os menores teores de Fe₂O₃ encontrados no Planossolo podem estar relacionados com a redução e remoção do Fe (Schwertmann 1989) durante sua gênese. A coloração

bruno-acinzentada a cinzenta dos horizontes B (Quadro 1) corroboram esta afirmativa.

Os teores de TiO₂ aumentam com a profundidade dos perfis, com valores mais expressivos no Gleissolo e Plintossolo.

Os maiores teores de P₂O₅ encontrados no Planossolo e o Gleissolo (média de 0,9 g kg⁻¹) são devido à biociclagem desse elemento nesses solos eutróficos. Couto e Oliveira (2010) afirmam que o teor de fósforo total nos solos do Pantanal de

Tabela 2 - Teores totais de óxidos e índices de intemperização dos solos.

Solo / horizonte	Prof.	Ataque sulfúrico (óxidos totais)							Ki	Kr
		SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	g kg ⁻¹		
Plintossolo	A	0-10	64	8	41	3,8	0,6	0,1	2,65	2,36
	E	11-27	73	33	86	4,2	0,4	0,0	1,44	1,16
	B _{tf1}	28-52	104	10	55	5,0	0,4	0,0	3,21	2,88
	B _{tf2}	53-73	121	44	107	5,5	0,5	0,1	1,92	1,52
	B _{tf3}	74-103	133	61	108	5,6	0,4	0,3	2,09	1,54
Planossolo	A	0-14	72	17	38	2,6	0,8	0,2	3,22	2,50
	B _{t1}	15-50	152	46	100	3,7	0,9	0,3	2,58	2,00
	B _{t2}	51-93	142	44	89	3,7	0,8	0,4	2,71	2,06
	B _{t3}	94-103	98	32	57	2,9	0,7	0,5	2,92	2,15
Gleissolo	A	0-9	122	25	81	4,5	0,9	0,1	2,56	2,14
	B _{tg1}	10-21	159	46	123	5,1	0,9	0,1	2,20	1,77
	B _{tg2}	22-47	239	61	194	5,7	0,9	0,1	2,09	1,74
	B _{tg3}	48-73	249	57	196	5,8	0,9	0,1	2,16	1,82
	BC	74-100	197	63	148	5,3	0,8	0,1	2,26	1,78

Poconé, MT (média de 1,2 g kg⁻¹) é duas vezes maior que o valor médio encontrado em solos brasileiros (Resende *et al.* 2002).

Características mineralógicas

A mineralogia da fração areia dos solos é constituída principalmente de quartzo (acima de 60%), fragmentos de petroplintita na forma de nódulos e concreções ferruginosas (Plintossolo e Gleissolo) e nódulos de manganês (Planossolo), biotita alterada e pouco alterada + muscovita (2%) e traços de turmalina, magnetita, ilmenita, epídoto, zircão e rutilo.

A difração de Raios-X da fração argila das amostras dos horizontes subsuperficiais diagnósticos dos solos evidenciou perfil mineralógico semelhante, constituído basicamente por caulinita, esmectita, illita e interestratificados do tipo illita-esmectita (Quadro 2), cuja estimativa se deu pela intensidade das reflexões nos difratogramas. Apenas o Plintossolo apresentou reflexões de goethita.

A presença da caulinita foi diagnosticada pelos picos de maior intensidade a 0,715 e 0,357 nm, que desapareceram com o tratamento a 550°C. A expressão da caulinita nos difratogramas do Plintossolo e Gleissolo mostra que ela é predominante na fração argila desses perfis. A caulinita é um mineral tipicamente formado em associação com perfis de intemperismo, e sua formação está associada à hidrólise de silicatos precursores, sendo favorecida sob condições de boa drenagem e pH baixo (Gonçalves *et al.* 2006). Entretanto, algumas evidências discutidas por Furquim *et al.* (2010) sustentam a origem alóctone da caulinita em solos semelhantes do Pantanal Sul Matogrossense, onde o argilomineral seria transportado pelos sistemas fluviais até os solos adjacentes.

Proporcionalmente, a presença de interestratificados de illita-esmectita e de esmectita é maior no Planossolo, de acordo com as maiores intensidades das reflexões na amostra saturada com Mg e glicolada (Figura 3). Segundo Mota *et al.* (2002), a ocorrência do mineral interestratificado pode estar associada a alterações incipientes da biotita.

O predomínio de esmectitas nestes solos confere elevada CTC, retenção de umidade e presença de superfícies de fricção (“slickensides”) nos horizontes subsuperficiais. As esmectitas são componentes freqüentemente encontrados em solos pouco intemperizados, formadas pelo intemperismo de micas

Quadro 2 - Composição mineralógica estimada da fração argila dos solos.

Solos	Ordem de predominância dos minerais ¹
Plintossolo	Ct > Es > Il/Es > Il > Gt
Planossolo	Il/Es > Ct > Es > Il
Gleissolo	Ct > Il > Es > Il/Es

¹Ct (caulinita); Es (esmectita); Il (illita); Il/Es (interestratificado illita-esmectita); Gt (goethita).

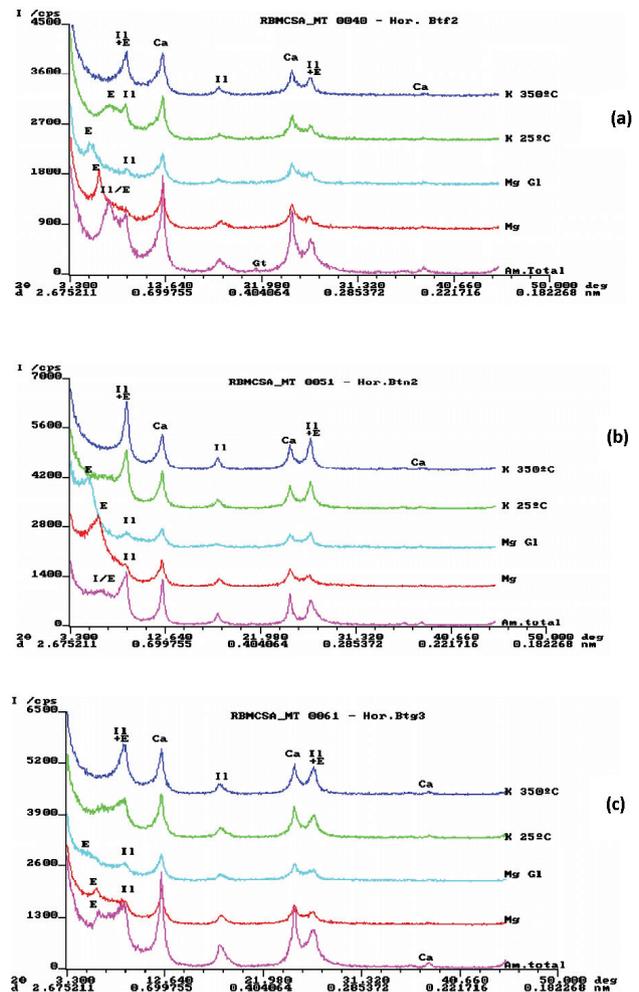


Figura 3 - Difratograma da fração argila desferrificada dos horizontes subsuperficiais diagnósticos dos solos, após saturação com K (25 °C e 350 °C) e Mg (25 °C e glicolado).

e vermiculitas e pela conservação de parte das camadas 2:1 (Melo *et al.* 2009), além da neogênese a partir da liberação de Al, Si e bases na solução do solo pelo intemperismo simultâneo de minerais primários silicatados (p.ex., feldspatos, olivinas magnesianas, hornblendas, etc.) em condições de baixa a moderada lixiviação de sílica (Reid-Soukup e Ulrey 2002; Melo *et al.* 2009). Nos solos estudados, a esmectita foi detectada por meio de reflexões a aproximadamente 1,500 nm que se expandiram a 1,700 – 1,770 nm, na amostra de argila saturada com Mg e etilenoglicol (Figura 3).

A presença de illita foi detectada por reflexões a 1,000 nm, com baixa intensidade na maioria dos tratamentos, e que não sofreu deslocamento com os tratamentos a que foram submetidas as amostras da fração argila (Figura 3). A illita pode ser um produto do intemperismo do material de

origem o que caracterizaria uma origem autóctone, além da fonte detrítica. A ilitização é um processo que pode ocorrer com ou sem a presença de esmectita, onde a ilita pode se formar a partir de um mineral precursor como, por exemplo, o feldspato potássico, ou por aporte de K em caulinita (Prada-Gamero *et al.* 2004).

O perfil mineralógico dos solos em estudo permite prever que grande parte dos argilominerais encontrados (especialmente os expansíveis) pode ter origem detrítica, uma vez que o processo intempérico nestes solos é pouco intenso, a julgar pelos valores elevados dos índices de intemperização dos solos (Ki e Kr, Tabela 2) e pelo ambiente sazonalmente inundado que retarda a sua evolução.

CONCLUSÕES

Os principais atributos morfológicos e físicos são a presença de mosqueamento associado a cores mais brunadas e acinzentadas nos perfis e o predomínio da estrutura em blocos subangulares no Plintossolo e prismática no Planossolo e Gleissolo, com variação textural mais evidente no Planossolo e no Gleissolo.

Quanto aos atributos químicos, verificou-se predomínio de argilas de atividade baixa ($CTC < 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ argila), exceto no Planossolo, que apresentou maiores valores de saturação por bases e CTC a pH 7, caracterizando elevada fertilidade natural. A sílica foi o óxido predominante nos solos, seguida do Al_2O_3 e Fe_2O_3 , cuja distribuição nos perfis está associada à presença de formas cristalinas de óxidos de ferro e à perda de ferro nos horizontes superficiais pelo processo de redução, principalmente no Gleissolo e Plintossolo.

A mineralogia da fração argila foi compatível com as diferenças químicas constatadas entre os solos. O Planossolo apresentou esmectitas e interstratificados Ilita/Esmectita e maior soma de bases e CTC, enquanto que o Plintossolo e o Gleissolo, com predominância de caulinita, apresentaram valores mais baixos de soma de bases e CTC. Por meio da análise dos atributos morfológicos, químicos, físicos e mineralógicos, constatou-se a influência do material de origem e do grau de hidromorfismo como principais atuantes na gênese dos solos estudados.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- Ab' Saber, A. N. 1988. The Pantanal of Mato Grosso and the theory of refugia. *Revista Brasileira de Geografia*, 50: 9-57.
- Anjos, L.H.C.; Pereira, M.G.; Vidal Pérez, D.; Ramos, D.P. 2007. Characterization and classification of the Plinthosols in the city of Pinheiro-MA. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31: 1035-1044.
- Assine, M.L.; Soares, P.C. 2004. Quaternary of the Pantanal, west-central Brazil. *Quaternary International*, 114: 23-24.
- Bertsch, P.M.; Seaman, J.C. 1999. Characterization of complex mineral assemblages: Implications for contaminant transport and environmental remediation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96: 3350-3357.
- Brinkman, R. 1970. Ferrollysis, a hydromorphic soil forming process. *Geoderma*, 03: 199-206.
- Camargo, O.A.; Moniz, A.C.; Jorge, J.A.; Valadares, J.M.A.S. 1986. *Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas. Boletim técnico n. 106*. Campinas: IAC. 94 pp.
- Coelho, M.R.; Vidal Torrado, P.; Ladeira, F.S.B. 2003. Macro and micromorphology of nodular ferricretes developed of the sandstone of the Bauru Group, Adamantina Formation. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25: 371-385.
- Corrêa, J.A.; Correia-Filho, F.C.L.; Scislewski, G.; Neto, C.; Cavallon, L.A.; Cerqueira, N.L.S.; Nogueira, V.L. 1976. *Geologia das Regiões Centro e oeste de Mato Grosso do Sul. Projeto Bodoquena*. (Mapa Geol. Escala 1:250 000). Brasília, DNPM. 111 pp. (Série Geologia Básica 3).
- Couto, E.G.; Jacomine, P.K.T.; Cunha, C.N.; Vechiatto, A.B. 2002. Guide of technique excursion of the XIV RBMCSA. In: *XIV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do solo e da água*. Cuiabá: UFMT. 68 pp.
- Couto, E.G.; Oliveira, V. 2010. The Soil Diversity of the Pantanal, p. 40-64. In: *The Pantanal of Mato Grosso: Ecology, biodiversity and sustainable management of a large neotropical seasonal wetland*. Sofia: Pensoft.
- D'Amore, D.V.; Stewart, S.R.; Huddleston, H. 2004. Saturation, Reduction, and the Formation of Iron-Manganese Concretions in the Jackson-Frazier Wetland, Oregon. *Soil Science Society American Journal*, 68: 1012-1022.
- Embrapa. 1997. *Manual de métodos de análise de solo*. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS. 212 pp.
- Embrapa. 2006. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 306 pp.
- Fanning, D.S.; Fanning, M.C.B. 1989. *Soil morphology, genesis and classification*. New York: John Wiley. 395 pp.
- Fernandes, F.A.; Fernandes, A.H.B.M.; Soares, M. T. S.; Pellegrin, L.A.; Lima, I.B.T. 2007. *Update Map of Soils of the Pantanal lowlands for the Brazilian System of Soil Classification. Comunicado Técnico 61* - Brasília-DF: Embrapa Pantanal, Corumbá-MS, 6 pp.
- Furquim, S.A.C.; Barbiéro, L.; Graham, R.C.; Queiroz Neto, J.P.; Ferreira, R.P.D.; Furian, S. 2010. Neof ormation of micas in soils surrounding an alkaline-saline lake of Pantanal wetland, Brazil. *Geoderma*, 158: 331-342.
- Gonçalves, D.F.; Rossetti, D.F.; Truckenbrodt, W.; Mendes, A. C. 2006. Argilominerais da Formação Codó (Aptiano Superior), Bacia de Grajaú, Nordeste do Brasil. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*. 13: 59-75.
- Hasenack, H.; Cordeiro, J.L.P.; Hofmann, G.S. 2003. *The climate of the Pantanal RPPN. Relatório técnico*. Porto Alegre: UFRGS. 31 pp.
- Humphries, M.S.; Kindness, A.; Ellery, W.N.; Hughes, J.C. 2010. Sediment geochemistry, mineral precipitation and clay

- neof ormation on the Mkuze River floodplain, South Africa. *Geoderma*, 157: 15-26.
- Lima, H.N.; Mello, J.W.V.; Schaefer, C.E.G.R.; Ker, J.C.; Lima, A.M.N. 2006. Chemistry and mineralogy of three soils of a toposequence of the sedimentary basin of the upper Amazon, western Amazon. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30: 59-68.
- Lima, H.N.; Mello, J.W.V.; Schaefer, C.E.G.R.; Ker, J.C. 2005. Dinâmica da mobilização de elementos em solos da Amazônia submetidos à inundação. *Acta Amazonica*, 35: 317-330.
- Mehra, O.P.; Jackson, M.L. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate, p. 317-327. In: *Clays and clay mineral Conference*, 7. London: Proceedings London.
- Melo, V.F.; Mattos, J.M.S.M.; Lima, V.C. 2009. Methods for concentration of minerals in the clay fraction 2:1 side seeking their identification by X-ray diffraction. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33: 527-539.
- Moore, D.M.; R.C. Reynolds. 1989. *X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals*. New York: Oxford Univ. Press. 47 pp.
- Mota, F.O.B.; Oliveira, J.B.; Gebhardt, H. 2002. Mineralogy of a Ultisol Eutrophic and Haplaquult Haplic Eutrophic Solod a toposequence of gneiss in the central hinterland of Ceará. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26: 607-618.
- Oliveira, A.I.; Leonardos, O. H. 1943. *Geologia do Brasil*. Rio de Janeiro: Serviço Informação Agrícola/Ministério da Agricultura. 813 pp.
- Prada-Gamero, R. M.; Vidal-Torrado, P.; Ferreira, T. O. 2004. Mineralogy and physical chemistry of mangrove soils in the river channel Iriiri Bertioga (Santos, SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28: 233-243.
- Resende, M.; Curi, N.; Lani, J.L. 2002. Reflexões sobre o uso dos solos brasileiros. *SBCS: Tópicos Ciência do Solo*, 2: 593-643.
- Reid-Soukup, D.; Ulrey, A.L. 2002. Smectites. p. 467-499. In: Dixon, J.B.; Schulze, D.G. (Eds). *Soil mineralogy with environmental applications*. Madison, Soil Science Society of America.
- Schwertmann, U.T.R.M. 1989. Iron oxides, p. 379-438. In: *Minerals in soil environments* Madison - US: Soil Science Society of America.
- Tomé Júnior, J.B. 1997. *Manual para interpretação de análise de solo*. Guaíba: Agropecuária. 247 pp.
- Uehara, G.; Gillman, G. 1981. *The Mineralogy, Chemistry and Physics of Tropical Soils with Variable Charge Clays*. Colorado: Westview Tropical Agriculture.
- Van Bodegom, P.; Reeve, J.V.; Van Dergon, H.A.C.D. 2003. Prediction of reducible soil iron content from iron extraction data. *Biogeochemistry*, 64: 231-245.
- Vepraskas M.J.; Faulkner S.P. 2001. Redox chemistry of hydric soils. In: *Wetland soils*. Boca Raton, FL: Lewis.
- Vepraskas, M.J.; Richardson, J.L.; Tandarich, J.P. 2006. Dynamics of redoximorphic feature formation under controlled ponding in a created riverine wetland. *Wetlands* 26: 486-496.

Recebido em 10/12/2010

Aceito em 03/05/2011