

# CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E MINERALÓGICA DE SOLOS EM AMBIENTES DE CORDILHEIRA E CAMPO DE INUNDAÇÃO NO PANTANAL DE POCONÉ, MATO GROSSO

*Morphological and mineralogical characterization of soils in the Cordillera and Flooding Field environments at the Pantanal Mato-Grossense - Poconé*

**Juberto Babilônia de Sousa<sup>1</sup>**  
**Célia Alves de Souza<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – Campus de Cáceres – IFMT**

Rua dos Soteris, Q 29, C12, Jardim Celeste I, Cep 78.200.00 Cáceres-MT  
jubertobabilonia@yahoo.com

**<sup>2</sup>Universidade do Estado de Mato Grosso – Campus de Cáceres – UNEMAT**

**Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais**  
Rua dos Soteris, Q 29, C12, Jardim Celeste I, Cep 78.200.00 Cáceres-MT  
celiaalvesgeo@globo.com

## RESUMO

O presente estudo foi realizado na sub-região do Pantanal de Poconé, estado de Mato Grosso. Foram estudados dois solos, sendo um Luvisolo Hipocrômico Órtico planossólico e um Gleissolo Háptico Tb Distrófico argissólico, representativos de ambientes distintos do Pantanal Mato-grossense, Cordilheira e Campo de inundação periódica, respectivamente. Objetivou-se compreender a gênese dos solos, a partir da caracterização e estudo de suas propriedades morfológicas e mineralógicas. Os resultados mostraram que a diferença de umidade entre os solos está relacionada a pequena diferença de cota dos ambientes e refletiu-se nas propriedades dos solos. Entre as características morfológicas, é evidente o maior efeito de hidromorfismo no solo do ambiente Campo de inundação periódica. Formas de ferro livre ocorrem em maiores teores no solo do ambiente Cordilheira, enquanto o solo do ambiente Campo de inundação periódica apresenta maiores teores de formas de ferro amorfas ou de baixa cristalinidade. Nas extrações de alumínio, observou-se a presença deste elemento nas formas de polímeros ou de baixa cristalinidade. A mineralogia da fração argila dos dois solos mostrou-se bastante semelhante, constituindo uma variabilidade de minerais, dentre os quais destacam-se a caulinita (Ct) e minerais 2:1, como a ilita (Il), vermiculita com hidróxi entre camadas (VHE) e, possivelmente, a esmectita (Es) no solo do ambiente Cordilheira; há ainda a ocorrência do quartzo (Qz). Os óxidos de ferro predominantes nos dois solos foram a hematita (Hm), goethita (GT) e lepidocrocita (Lp).

**Palavras chave:** Pantanal – Mato Grosso, Cordilheira e Campo de Inundação.

## ABSTRACT

The current study was carried out in the sub-region of Poconé, a wetland area located in Mato Grosso State. The Gleyic Luvisol (LVg) and Dystric Gleysol (GLd) soils were considered for the study as significant representatives of two distinct environments existent in the Pantanal Mato-grossense, the cordillera and periodical flooding field, respectively. The objective was to understand the genesis of the soils from the characterization and study of their morphological and mineralogical properties. The results showed that the difference in moisture between the soils is related to the low difference of elevation from these environments, which affects the soils' properties. In the Cordillera environment, the soil presents higher contents of free iron, whereas in the periodical flooding field, the soil presents higher contents of amorphous iron or low crystallinity. The extractions pointed out the presence of aluminum under polymeric form or low crystallinity. Among the morphological characteristics, the highest effect of the hydromorphism occurred in the soil of the periodical flooding field. The mineralogy of the clay fraction in both soils showed to be quite similar by constituting a variability of minerals, with emphasis to kaolinite (Ct) and minerals 2:1 such as illite (Il), hydroxy layered vermiculite (VHE) and, possibly smectite (Es) in the soil of the Cordillera environment. It was also confirmed the presence of

quartz (Qz). The iron oxides considered predominant in both soils were the hematite (Hm), goethite (Gt) and lepidocrocyte (Lp).

**Key-words:** Pantanal Mato-grossense , cordillera and periodical flooding field

## 1 INTRODUÇÃO

O Pantanal Mato-grossense é constituído de onze sub-regiões, sendo uma delas a do Pantanal de Poconé. Esta sub-região localiza-se ao norte e é caracterizada por apresentar terrenos mais altos e de maior inclinação leste/oeste em relação às demais (FRANCO et al., 1982). Nesse espaço são identificadas as planícies de média e, normalmente, de baixa inundação. Isso faz com que esta sub-região tenha a menor influência da permanência de água no solo no período das cheias, com exceção da região sul desse Pantanal, onde os terrenos encontram-se na planície do rio Paraguai.

O fato de ser uma sub-região “mais seca” em relação às demais, não significa que ela perde suas características de área inundável e nem a sua diversidade ambiental. Assim como os demais pantanais, possui características de uma alta diversidade litológica, geomorfológica, hidrológica, climática e pedológica, resultando em variados tipos de ambientes. Como área de transição, a sub-região ostenta um mosaico de ecossistemas, com afinidades, sobretudo, com os Cerrados e, em parte, com ecossistemas aquáticos e semi-aquáticos, determinados, principalmente, pelo solo e pelo clima.

A referida sub-região possui características próprias quanto ao tipo de litologia sobre as quais formaram os seus solos. É constituída por uma variabilidade de sedimentos aluviais e fluviolacustres da Formação Pantanal, que foram depositados no Pleistoceno (Quaternário), apresentando materiais de origem de textura predominantemente argilosa, transportada, principalmente, pelos rios Cuiabá e Bento Gomes.

A distribuição das diferentes classes de solos na sub-região do Pantanal de Poconé pode ser compreendida à luz das pequenas variações de relevo, observadas na paisagem.

Os solos são, em sua totalidade, influenciados pelo hidromorfismo, favorecido pelo relevo plano, característica que determina a sua forte tendência a inundações periódicas. Somente nas formas de relevo, discretamente mais elevadas, representadas pelas cordilheiras, desenvolvem-se solos onde o processo de hidromorfismo não é o principal processo pedogenético.

De modo geral, os tipos de ambientes presentes na sub-região do Pantanal do Poconé são diferenciados pelo relevo local: (1) pequenas elevações isoladas conhecidas como cordilheiras; (2) campos de inundação, que são áreas sujeitas a inundações periódicas; (3) baías, que constituem áreas deprimidas, contendo água; (4) vazantes, que são áreas de depressão entre as baías com caráter de curso fluvial intermitente; e (5) corixos, que correspondem a pequenos cursos d'água, geralmente perenes, conectados ao rio principal.

Constata-se que nesses ambientes geomorfológicos, a gênese e a caracterização dos solos são pouco estudadas. Há necessidade de mais detalhamento nos estudos de solos do Pantanal Mato-grossense, uma vez que a heterogeneidade regional impõe características pedogenéticas diferenciadas com ocorrência de processos distintos, influenciados, sobretudo, pelo relevo e pela intensidade e duração do hidromorfismo. Para justificar esse estudo, considerou-se a deficiência de pesquisas básicas sobre a gênese de solo no Pantanal Mato-grossense e a necessidade de pesquisas que ampliem o entendimento da gênese desses solos, contribuindo para o seu melhor conhecimento.

Para o presente estudo foram selecionados dois perfis de solos representativos em área de planície de inundação sobre sedimentos Pleistocênicos, sendo uma Cordilheira de natureza argilosa e um Campo de inundação periódica, respectivamente, buscando-se compreender a

gênese desses solos a partir da variação existente na intensidade e duração do hidromorfismo, determinado pela pequena diferença de cota entre esses ambientes.

A pesquisa teve como objetivo verificar a gênese de dois tipos de solos em ambientes de Cordilheira e Campo de inundação periódica no Pantanal de Poconé Mato Grosso, a partir da caracterização das suas propriedades morfológicas e mineralógicas.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

Para este estudo foram descritos dois perfis em duas áreas (Cordilheira e Campo de inundação periódica) na unidade geomorfológica Planícies e Pantanaís Mato-grossenses.

As áreas encontram-se no norte do Pantanal Mato-Grossense, na sub-região do Pantanal de Poconé, no município de Poconé, estado de Mato Grosso. A região foi intensamente percorrida no trabalho de campo realizado no mês de setembro do ano de 2001 em período seco do ano, buscando-se um reconhecimento geral tanto da região relacionada à paisagem quanto do solo. As áreas selecionadas localizam-se no km 35 da estrada Transpantaneira, margem esquerda, a cerca de 500 m da estrada, na Fazenda Carandá Fundo.

Foram abertos dois perfis: o primeiro perfil na feição de relevo denominada Cordilheira (CoP1), nas coordenadas geográficas 16°36'1.5"S e 56°45'32.3"OGw. O segundo perfil foi aberto no Campo de inundação periódica (CiP2), nas coordenadas geográficas 16°36' 1.06"S e 56°45'31.8"OGw..

Os perfis foram fotografados e, em seguida, procedeu-se às descrições morfológicas (LEMOS e SANTOS, 1996) e coleta de amostras em todos os horizontes para análises físicas, químicas e mineralógicas.

#### 2.1.1 Análises de laboratório

As amostras de solos coletadas em cada horizonte dos perfis, e acondicionadas em sacos plásticos, foram transportadas ao laboratório. No laboratório as amostras foram destorroadas, secas ao ar e passadas em peneiras com malha de 2 mm de diâmetro, transformadas em terra fina seca ao ar (TFSA), (EMBRAPA, 1997).

As mostras foram coletadas em dois perfis, o primeiro localizado em ambiente de Cordilheira (CoP1) e o segundo localizado em ambiente Campo de inundação periódica (CiP2). A distinção dos ambientes no campo foi feita, principalmente, baseada no uso do solo e tipo de vegetação presente, condicionado ao regime hídrico dos solos.

#### 2.1.2 Formas cristalinas, amorfas e complexos de ferro, alumínio e manganês

Utilizou a TFSA nas determinações das formas livres de ferro, alumínio e manganês nos solos, bem como seus complexos com a matéria orgânica, foram utilizados os procedimentos metodológicos baseados em CONFFIN (1963) para o ditionito-citrato-bicarbonato (Fed), McKEAGUE e DAY (1966) e para o oxalato de amônio (Feo) e SCHWERTMANN e TAYOR (1989) para o pirofosfato de sódio, conforme descrições apresentadas a seguir:

As formas de ferro, alumínio e manganês cristalinos associados à fração argila dos solos foram determinadas em extratos obtidos de três extrações sucessivas com ditionito-citrato-bicarbonato (CONFFIN, 1963). Foram pesadas 0,3 g de TFSA de cada horizonte amostrado, sendo esses materiais colocados em tubos de centrífuga, aos quais foram adicionados 10 mL de solução, a pH 4,8, de citrato de sódio 0,2 mol L<sup>-1</sup> e 500 mg de ditionito de sódio. Os tubos foram levados ao banho-maria (50°C) por 30 minutos, sendo, depois agitados periodicamente.

O material foi centrifugado a 2000 rpm por 10 minutos e o sobrenadante recolhido em balão volumétrico de 50 mL; esta operação foi repetida três vezes, sendo o volume do balão completado com água deionizada. Determinou-se o teor de ferro, alumínio e

manganês nas amostras, através da absorção atômica, usando-se duas repetições para cada amostras.

Para a determinação de alumínio, manganês e óxidos de Fe amorfo por meio do oxalato de amônio, pesou-se 0,3 g de TFSA de cada horizonte amostrado, sendo esses materiais colocados em tubos de centrífuga opacos, aos quais foram adicionados 10 mL da solução oxalato de amônio  $0,2 \text{ mol L}^{-1}$  pH 3,0. Os tubos foram tampados e agitados horizontalmente por 2 horas (McKEAGUE e DAY, 1966).

Em seguida, o material foi centrifugado a 2000 rpm por 10 minutos e o sobrenadante, recolhido em balão volumétrico de 50 mL, o qual permaneceu tampado; esta operação foi efetuada apenas uma vez. Determinou o teor de ferro, alumínio e manganês totais nas amostras, por absorção atômica. Foram usadas duas repetições para cada amostra.

Para a determinação de alumínio, ferro e manganês complexados à matéria orgânica, utilizou-se 0,5 g de TFSA com 50 mL de solução de pirofosfato de sódio  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ , pH 10,0 (SCHWERTMANN e TAYLOR, 1989). Em seguida, fez-se uma agitação por 16 horas, em agitador horizontal com 200 oscilações por minuto. Depois, as amostras foram centrifugadas a 3000 rpm por 5 minutos e o sobrenadante recolhido em frascos de vidro. Determinou os teores de ferro, alumínio e manganês por absorção atômica diretamente nos extratos. Para cada amostra, foram usadas duas repetições.

### 2.1.3 Ataque sulfúrico

O ataque sulfúrico foi utilizado para determinar os teores de silício, alumínio, ferro, titânio, potássio e fósforo total. Foram determinados em duplicata, a partir da digestão de 0,5 g de TFSA previamente triturada em almofariz, aquecendo-se, até fervura, por 1 hora, com 20 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $9 \text{ mol L}^{-1}$  proporção 1:1 (volume água-ácido), com posterior resfriamento, filtração para balões aferidos de 250 mL e diluição. No resíduo, determinou o silício e, no filtrado, os outros elementos (EMBRAPA, 1997). O ferro, silício

e o alumínio foram determinados na absorção atômica; o fósforo e titânio por colorimetria e o potássio por fotometria de emissão de chama.

### 2.1.4 Caracterização mineralógica

#### 2.1.4.1 Difração de raios-X

As determinações mineralógicas foram feitas nas amostras de cada horizonte dos dois perfis descritos. Para as análises, foram adotados os métodos qualitativos da difração de raios-X propostos por JACKSON (1956). A difratometria de raios-X foi realizada na fração areia, silte e argila natural e com argila desferrificada por ditionito-citrato-bicarbonato de todos os horizontes descritos. As amostras de argila desferrificada foram submetidas ao tratamento com magnésio, magnésio e glicerol e potássio, quando necessário. Fez-se, também, a difratometria de raios-X na argila tratada com NaOH  $5 \text{ mol L}^{-1}$  para concentração dos óxidos de ferro (KAMPF e SCHWETMANN, 1982).

As amostras de argila desferrificada foram submetidas à difratometria de raios-X em temperatura ambiente e após aquecimento de 350 e 550°C para a lâmina tratada com magnésio. Para as lâminas tratadas com magnésio mais glicerol e potássio, após aquecimento a 350 e 550°C.

A fração areia foi triturada e, posteriormente, colocou em lâminas de vidro escavadas, aderindo-a a lâmina com cola plástica. As frações silte e argila natural foram montadas em lâminas de vidro planas e lisas. A fração argila natural foi orientada pelo esfregaço de uma lâmina com outra. A fração argila tratada com NaOH foi montada em lâminas não-orientadas.

As leituras foram feitas nas lâminas secas, sendo irradiadas numa escala horizontal de  $0,5 \text{ cm}/2\theta$  de 4° a 50° em difratômetro de raios-X com tubo de cobalto e filtro de níquel. Para isto, utilizou-se um aparelho Rigaku Geigerflex regulado em uma potencia de 40 kV e uma corrente de 30 mA.

### 3 RESULTADO E DISCUSSÃO

#### 3.1 Cordilheira e campo de inundação

As cordilheiras são pequenas elevações médias, em torno de 2-3m sobre o nível da água do campo de inundação, possuindo uma pequena declividade na interface com o campo de inundação. Em razão de sua posição mais elevada não sofrem inundação, a não ser no caso de enchentes excepcionais. As cordilheiras servem como áreas de refúgio, no período das cheias, para animais silvestres e para o gado.

O campo de inundação refere-se às partes inferiores em relação à cordilheira, cuja dinâmica de inundação está associada ao regime das cheias do Pantanal com alagamento sazonal. A inundação anual decorre do impedimento ao escoamento superficial, resultante da baixa declividade e do selamento superficial provocado pela concentração da fração silte em superfície, além da presença de lençol freático subflorante, sendo utilizado para pecuária extensiva.

Os estratos ambientais são caracterizados por sucessiva frequência de contrastes altimétricos de dois a cinco metros entre o topo das partes altas e as depressões, que caracterizam as feições no relevo. As partes altas são denominadas de Cordilheiras, e os Campos de Inundação, quando apresentam planas e deprimidas.

Nos dois estratos ambientais os diferentes padrões na vegetação, aparecem ordenados segundo um gradiente de inundação. Caracterizam-se pela presença de arbustos, árvores de ambientes mais secos, plantas herbáceas e gramíneas que suportam inundações. Tem forte influência da colonização da vegetação periférica de ocorrência nos cerrados, caracterizando-se como um grande mosaico (AB' SABER, 1988).

Na composição total da área mapeada indicada ocorre o domínio do estrato ambiental partes altas, caracterizado, pela feição de relevo Cordilheira, compreendendo 1.204,00 ha (60,44%) da área total mapeada, seguida do estrato ambiental depressão constituído pela

feição Campo de Inundação Periódica com 683,82 ha (34,33%) da área total mapeada. As baías totalizaram 1,20 ha (0,06%) e o grupo rios, ilhas fluviais e floresta ciliar corresponderam a 102,97 ha (5,17%) da área total mapeada (Tabela 1 e Figura 1).

O perfil CoP1 (Cordilheira) está localizado na parte alta, no compartimento cordilheira (1.084,82 ha) com vegetação típica do cerrado (Cerradão mesotrófico subcaducifólio), apresentando espécies arbóreas heterogêneas com predomínio do Carvoeiro (*Bowdichia virgilioides*), Espinheiro (*Mimosa spp.*) e Cambará (*Vochysia divergens*), e com um sub-bosque constituído por um estrado variado composto de Gravatá (*Bromélia*).

O perfil CiP2 (Campo de Inundação Periódica) está localizado na depressão, no compartimento campo de inundação periódica (528,41 ha) com presença de vegetação graminóide e árvores esparsas (Campo cerrado tropical) composta basicamente pela associação do Cerrado mesotrófico e gramínea, apresentando o domínio da espécie Cambará (*Vochysia divergens*), e pelo Andropogon (*Andropogon gayanus*) gramínea utilizada como pastagem natural.

O ambiente campo de inundação periódica, ponto de coleta do perfil CiP2, refere-se à parte inferior em relação às cordilheiras, sendo área passível de inundação, cuja dinâmica da inundação está associada ao regime das cheias com alagamento sazonal (CUNHA, 1980).

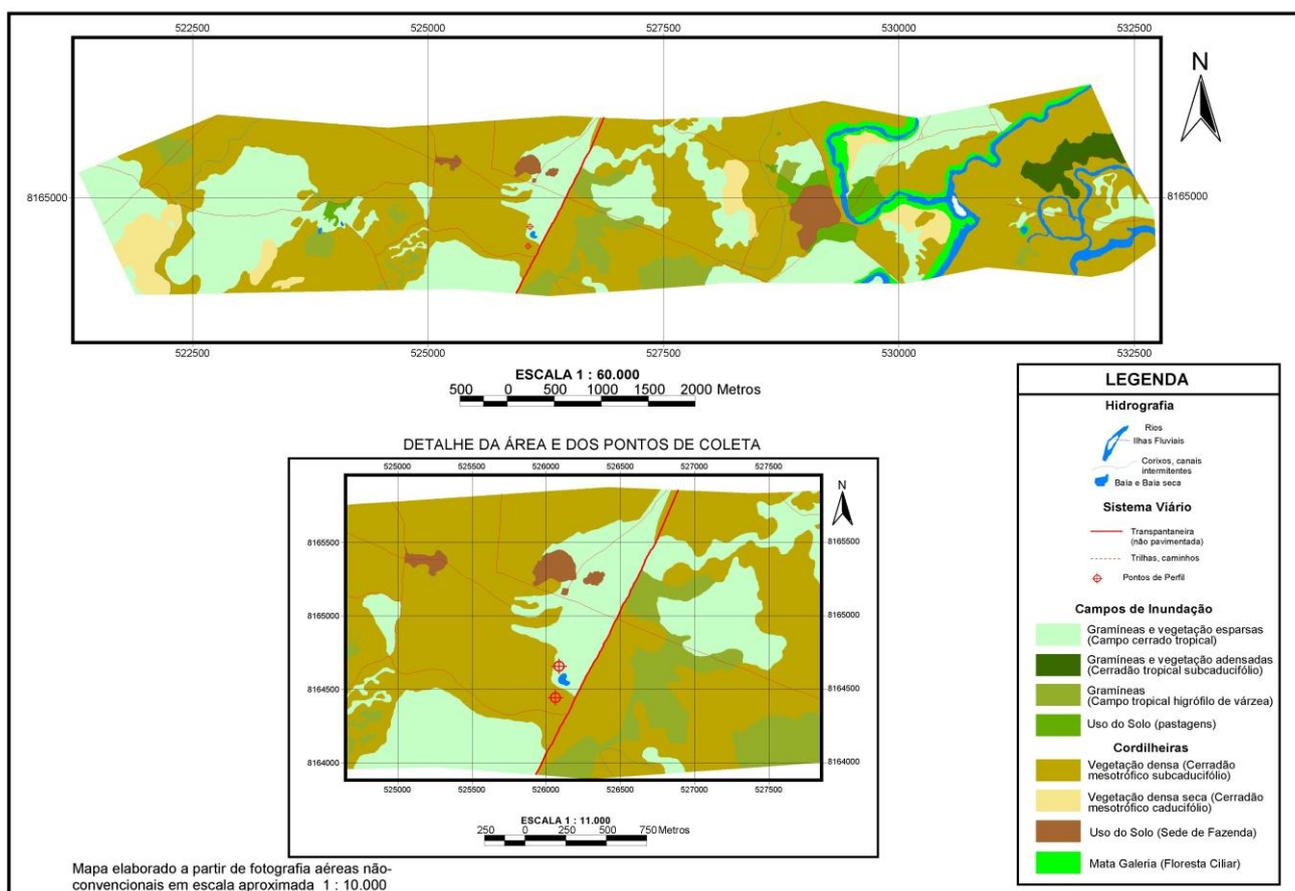
A área estuda é banhada pelos rios Claro e Novo (Quadro 1), localizados a leste dos pontos de coleta, afluentes da margem esquerda do rio Bento Gomes. Os rios possuem padrão meandrante, com presença de ilha formada pela atividade fluvial.

As inundações são anuais-sazonais resultantes do desvio do excesso de água presente na calha dos rios para os campos de inundação contribuindo para a deposição dos sedimentos e fertilização dos solos. Outra parte é armazenada nas baías.

De modo geral, a presença da feição de relevo baías nas depressões da sub-região do Pantanal de Poconé é bastante reduzida, em função, principalmente, da sua posição mais elevada e maior inclinação leste/oeste (ALVARENGA, et al., 1984). Foi identificada uma pequena baía com água próxima ao ponto de coleta do perfil CiP2 (Campo de inundação periódica), apresentando contorno pouco definido.

**Tabela 1:** Composição dos estratos ambientais da área mapeada.

Estratos	Composição	
	Área dos estratos ----- ha -----	Fração por estrato ----- % -----
<i>Partes altas/Cordilheira</i>		
Cerradão mesotrófico subcaducifólio	1084,82	54,46
Cerradão mesotrófico caducifólio	88,00	4,42
Uso do solo (Sede de fazendas)	31,19	1,57
<i>Total</i>	<i>1204,00</i>	<i>60,44</i>
<i>Depressão/Campo de inundação</i>		
Campo cerrado tropical	528,41	26,53
Cerradão tropical subcaducifólio	31,39	1,58
Campo tropical higrófilo de várzea	92,87	4,66
Uso do solo (Pastagens)	31,14	1,56
<i>Sub-total</i>	<i>683,82</i>	<i>34,33</i>
Baixas com água	1,08	0,05
Baixas sem água	0,12	0,01
<i>Sub-total</i>	<i>1,20</i>	<i>0,06</i>
Rios	53,60	2,69
Ilhas fluviais	1,43	0,07
Floresta ciliar	47,94	2,41
<i>Sub-total</i>	<i>102,97</i>	<i>5,17</i>
<i>Total</i>	<i>787,99</i>	<i>39,56</i>
<b>Total geral</b>	<b>1992,00</b>	<b>100,00</b>



**Figura 1:** Visão geral da área mapeada e dos pontos de coleta dos perfis de solo estudados

A vegetação em torno é do tipo gramíneas, que pode estar influenciando no seu caráter perene.

Pequenos cursos d'água intermitentes, denominados corixos foram identificados na depressão ou nas áreas mais baixas das partes altas. São feições pouco profundas

relativamente estreitas e apresentam com vegetação marginal do tipo mata de galeria. Tem como característica, o transporte de sedimentos durante o período de cheia e vazante e, funcionam ainda como corredores

de migração para diversas espécies de peixes (ALVARENGA et al., 1984).

As áreas de coleta dos perfis relacionam-se aos depósitos fluviais e fluviolacustres. Caracterizam-se sedimentos aluviais predominantemente argilosos, argilo-arenosos e silticos, inconsolidados e semiconsolidados de idade Pleistocênica/Quaternária da Formação Pantanal (BARROS et al., 1982). A geologia local sofre influência direta da geologia localizada ao norte, principalmente, da Baixada Cuiabana composta por quartzitos, xistos, filitos, argilitos dentre outras, do Grupo Cuiabá do Pré-Cambriano Superior.

O clima da região está enquadrado no tipo Aw (tropical de savana, inverno seco e verão chuvoso) da classificação de Köppen. A precipitação média anual situa-se em torno de 1000 a 1200 mm, ocorrendo em dezembro e fevereiro os maiores índices de precipitação pluviométrica (TARIFA, 1986).

O balanço hídrico (Precipitação-Evapotranspiração) dos solos da região mostra um déficit hídrico de abril a outubro, mas um excesso de água de novembro a abril.

O déficit hídrico está diretamente relacionado à posição topográfica deprimida e às altas temperaturas, apresentando médias superiores a 27°C, no período de novembro a fevereiro, e superiores a 18°C nos meses mais frios. Nos meses de junho a agosto, acontecem migrações de massas frias provenientes do sul, através do Pantanal, fazendo com que a região alcance temperaturas inferiores a 10°C (GARCIA, 1984).

### 3.2 Caracterização do solo

O solo presente na Cordilheira (CoP1) apresenta horizonte Bt indicando processo de translocação (Figura 2). A presença de cerosidade bem definida e o gradiente textural apontam a translocação de argila como uma das causas da presença do horizonte 2Bt.

O solo do Campo de inundação periódica (CiP2) apresenta o horizonte Btg (Figura 2), com ocorrência de gradiente textural relacionado ao processo de translocação de argila e estrutura em blocos angulares e subangulares. O caráter g é dado pela presença de cromas  $\leq 2$ , caracterizando a gleização. A ausência de cerosidade está relacionada a condição de inundação periódica desse perfil.

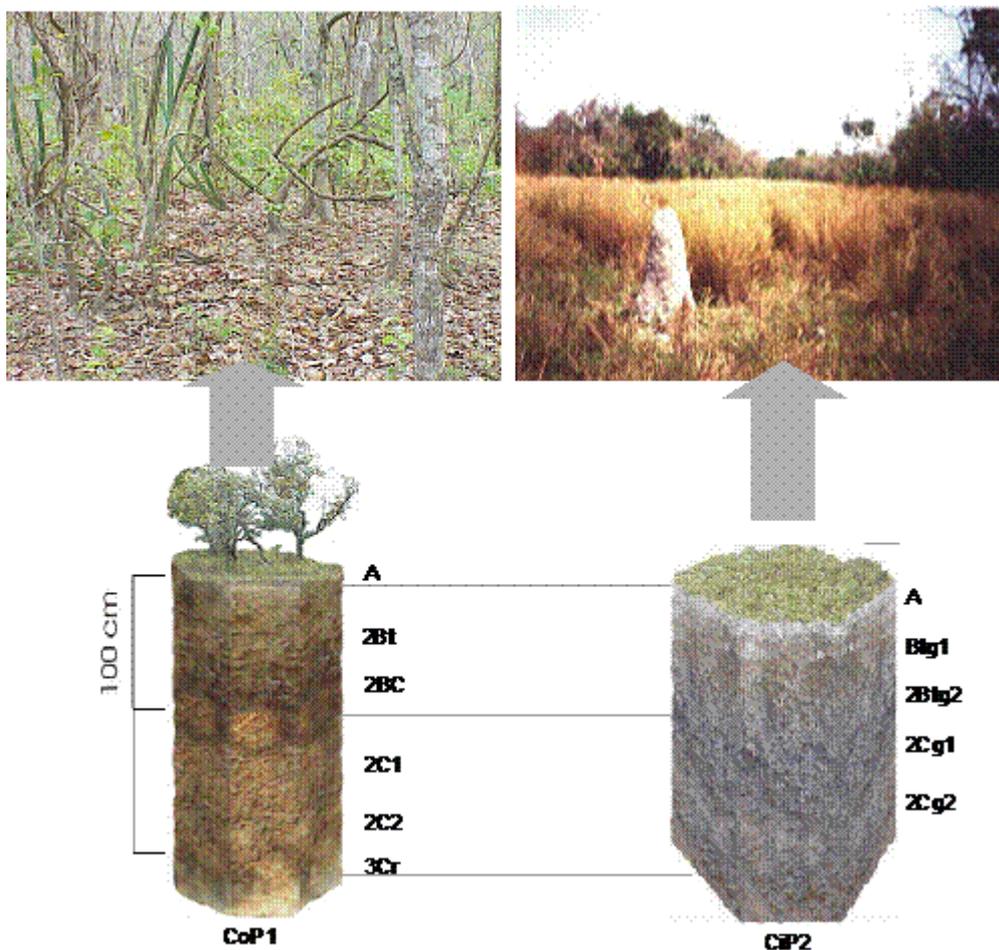
O tipo de estrutura presente, quanto à forma, no solo CoP1 é a prismática e no solo CiP2 é a blocos angulares e subangulares, ambas em grau forte. A forma da estrutura está relacionada aos teores elevados de argila presente nos dois perfis, submetidos aos ciclos de umedecimento e secagem.

Os dados das descrições morfológicas mostram que o solo CoP1 apresenta-se moderadamente drenado, enquanto que o solo CiP2 apresenta-se imperfeitamente drenado, indicando que a drenagem dos ambientes Cordilheira (CoP1) e Campo de inundação periódica (CiP2) é de natureza restrita, o que está de acordo com a localização dos perfis em área de planície de inundação.

A distinção de drenagem entre os dois perfis vai resultar em mudanças nas propriedades morfológicas, onde o solo CoP1 apresenta nos horizontes 2Bt e 2BC matiz avermelhado, cerosidade e presença de mosqueado. Nesse perfil há coexistência de mosqueado e cerosidade no horizonte 2BC, sugere que a origem deste seja devido à maior presença do lençol freático em tempos subatuais.

Essas feições morfológicas não foram observadas no perfil CiP2, com exceção do mosqueado. Esse perfil apresenta processos de gleização a partir do horizonte Btg1, indicando efeitos da redução, mostrando que neste perfil há maior presença do lençol freático. Essa diferença de drenagem, entre os dois solos, se deve à diferença de cota de aproximadamente 3 metros.

As cores dos solos vão também refletir a influência da presença de lençol freático elevado, onde o solo CoP1 apresenta maior variação de cor com matizes 5YR e 10YR e o solo CiP2 maior uniformidade, expressa pela constância do matiz 10YR. Os resultados mostram que o horizonte A do solo CoP1 apresenta-se escuro e amarelado, o que indica a ocorrência da goethita, até mesmo em contraste com horizontes mais profundos que apresentam matizes mais vermelho e acinzentado, diferentemente ao que apresenta o solo CiP2 onde os horizontes, inclusive o A, apresentam-se mais gleizados. Nesse solo a gleização constatada a campo era exterior a



**Figura 2:** Paisagem de ocorrência e caracterização dos perfis de solos, CoP1 - Luvissole Hipocrômico Órtico planossólico (Cordilheira) e o CiP2 - Gleissolo Háplico Tb Distrófico argissólico (Campo de inundação periódica)

estrutura. No seu interior o material apresentou-se avermelhado evidenciando a presença do mosqueado.

A distinção apresentada no processo de gleização mostra a ocorrência do pseudo-gleizamento no solo CiP2, o que está de acordo a presença do gradiente textural e os altos teores de silte que favorecem a inundação superficial com ocorrência do processo de gleização de cima para baixo.

### 3.3 Formas cristalinas, amorfas e complexadas de ferro, alumínio e manganês

O resultado das extrações de ferro cristalino, amorfos e formas complexadas de ferro, alumínio e manganês dos solos CoP1 e CiP2 (Tabela 2).

O ditionito é efetivo para extrair formas de ferro cristalino (óxidos), o amorfo é aquele

organicamente ligado a fração mineral, além de extrair formas de polímeros de alumínio contidos nos óxidos de ferro e matéria orgânica (McKEAGUE e DAY, 1966; CONFFIN, 1963). O oxalato é usado para extrair a maior parte do ferro de materiais amorfos e, também, formas de polímeros de alumínio contido nos óxidos de ferro e matéria orgânica (McKEAGUE e DAY, 1966). O pirofosfato de sódio extrai o ferro e o alumínio ligados à matéria orgânica (SCHWERTMANN e TAYLOR, 1989).

Os resultados mostram que os teores de ferro, na forma cristalina, foram distintamente superiores no solo CoP1 e maiores nos horizontes com drenagem mais livre. No solo CiP2, por apresentar horizontes onde a drenagem é mais restrita, houve maior recuperação pelo oxalato, com exceção às zonas de ocorrência do mosqueado, onde

formas pouco cristalinas coexistem com formas mais livres e oxidadas. Nesse caso, durante o período seco, época que prevalece uma melhor drenagem e/ou abaixamento do lençol freático, possibilitou uma acumulação localizada de  $Fe^{3+}$  que, embora haja a alteração das condições do meio para situações de drenagem mais restrita na época chuvosa, persistiu no meio como forma de mosqueado (SCHWERTMANN e TAYLOR, 1989).

As relações  $Fe_o/Fed$  foram maiores no solo CiP2, o que indica que neste solo prevalecem as formas de ferro com baixo grau de cristalinidade, e está de acordo com sua condição de maior hidromorfismo em relação ao solo CoP1. No solo CoP1 houve maior relação em superfície, o que indica o efeito da matéria orgânica na menor cristalinidade dos óxidos de ferro (SCHWERTMANN e TAYLOR, 1989).

Os dados obtidos mostram elevados teores de alumínio tanto pelo ditionito como pelo oxalato (Tabela 2). Dentre os extratores que mais recuperaram o alumínio destaca-se o oxalato, caracterizando formas de polímeros ou de baixa cristalinidade (BORGGAARD,

1988) o que acontece em função da maior movimentação do lençol freático, e, ao oxalato ser um forte ligante, dissolvendo mais eficientemente formas de alumínio ligado à matéria orgânica (McKEAGUE e DAY, 1966;

BORGGAARD, 1988) além deste elemento não ser afetado por agentes redutores. Como consequência, a relação  $Al_o/Al_d$  (Tabela 3) permaneceu alta, representando formas de alumínio de alta atividade nos solos, o que está relacionado a polímeros de alumínio, superfícies intemperizadas de argilominerais e hidróxi-Al silicatos amorfos (KAMPF, 1986) ou relacionadas a algumas formas de alumínio ligado à matéria orgânica (BORGGAARD, 1988).

O pirofosfato de sódio extraiu maiores teores de alumínio, sugerindo que seja o principal cátion ligado a compostos orgânicos. A relação  $Al_p/Fep$  (Tabela 3) é alta em todos os horizontes dos dois solos, indicando a dominância do Al-húmus sobre o complexo Fe-húmus, sendo que, no solo CiP2, o Fe-húmus teve seu maior valor relativo. Quanto à relação  $Al_p/Al_d$ , apresentou valores altos e variáveis em todos os horizontes dos dois

**Tabela 2:** Teores de ferro, alumínio e manganês extraídos com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (d), oxalato ácido de amônio (o) e pirofosfato de sódio (p) em amostras de TFSA dos solos CoP1 (Ambiente Cordilheira) e CiP2 (Ambiente Campo de inundação periódica)

Horiz.	Prof.	Fed <sup>1</sup>	Feo	Fep	Ald	Alo	Alp	Mnd
---cm---		-----g kg <sup>-1</sup> -----						
----- CoP1 - Luvissole Hipocrômico Órtico planossólico -----								
A	0-18	17,88	7,19	3,67	2,03	3,59	5,72	0,27
2Bt	18-51	20,85	0,39	4,40	1,59	2,14	9,20	0,26
2BC	51-100	26,29	0,36	3,42	2,75	4,51	9,42	0,17
2C1	100-119	4,94	0,20	2,21	1,96	2,96	8,54	0,08
2C2	119-134	3,53	0,26	3,17	2,28	4,85	11,70	0,04
3Cr	134-150+	3,21	0,26	0,71	1,42	2,03	3,93	0,09
----- CiP2 - Gleissolo Háptico Tb Distrófico argissólico -----								
A	0-9	0,94	0,22	0,74	1,14	2,55	3,49	0,04
Btg1	9-26	2,20	0,62	0,74	2,25	3,60	2,39	0,03
2Btg2	26-53	5,47	1,01	0,22	1,82	2,96	1,96	0,03
2Cg1	53-70	13,07	7,88	0,13	2,74	3,80	0,92	0,04
2Cg2	70-90+	2,22	0,92	0,11	1,82	2,77	0,95	0,04

<sup>1/</sup> Soma das três extrações

**Tabela 3:** Relações derivadas dos teores de ferro, alumínio e suas frações dos solos CoP1 (Ambiente Cordilheira) e CiP2 (Ambiente Campo de inundação periódica)

Horiz.	Prof. (cm)	Feo/Fed <sup>1</sup>	Alp/Ald	Alo/Ald	Alp/Fep
----- CoP1 - Luvissole Hipocrômico Órtico planossólico -----					
A	0-18	0,40	2,82	1,77	1,56
2Bt	18-51	0,02	5,80	1,35	2,09
2BC	51-100	0,01	3,42	1,64	2,76
2C1	100-119	0,04	4,37	1,52	3,87
2C2	119-134	0,07	5,13	2,13	3,69
3Cr	134-150+	0,08	2,77	1,43	5,52
----- CiP2 - Gleissolo Háplico Tb Distrófico argissólico -----					
A	0-9	0,24	3,05	2,23	4,74
Btg1	9-26	0,28	1,06	1,60	3,24
2Btg2	26-53	0,19	1,07	1,62	9,06
2Cg1	53-70	0,60	0,33	1,39	7,19
2Cg2	70-90+	0,41	0,52	1,53	8,97

<sup>1/</sup> com base na 1<sup>a</sup> extração

solos, indicativos do processo de translocação de Al-húmus.

O teor de manganês, obtido pelo extrator ditionito, foi muito baixo em ambos os solos (Tabela 3). Neste caso, mostra a influência de hidromorfismo na sua solubilidade, o que tende a ser preferencialmente lixiviado em relação aos demais elementos (SCHWERTMANN e TAYLOR, 1989).

### 3.4 Ataque sulfúrico e mineralogia

Os resultados do ataque sulfúrico estão representados na Tabela 4. Considerando que o somatório da porcentagem dos óxidos foi menor que os teores de argila obtidos (Tabela 2), exceto para os horizontes 2BC2 do solo CoP1 e 2Cg2 do solo CiP2. Podemos admitir que somente a fração argila foi atacada pelo H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Os resultados na análise mineralógica qualitativa das frações argila natural, desferrificada, silte e argila tratada com NaOH 5M, para concentração de óxidos de ferro.

Os resultados mostram que a mineralogia dos dois solos é muito semelhante. Isso é interessante, embora os materiais sedimentares que formaram os solos

apresentem descontinuidades que são claramente evidenciadas pelas características físicas e químicas, inclusive o ataque sulfúrico dos solos. Isso não reflete na mineralogia dos solos, ou seja, em ambientes como os estudados, a mineralogia tende a ser mais uniforme e não pode ser utilizada como critério de distinção de solos.

Os minerais identificados na fração argila natural foram caulinita, ilita, vermiculita com hidróxi entre camadas, quartzo, esmectita e óxidos de ferro, com predominância da caulinita, embora a ilita (ou mesmo muscovita parcialmente intemperizada) ocorra em proporções importantes. Assim, os minerais identificados nesses solos são do tipo 2:1, o que está de acordo com os valores de Ki elevados observados em todos os horizontes dos dois solos e são semelhantes aqueles publicados pela SBCS (2002) na região, obedecendo aos mesmos tratamentos e aquecimentos na fração argila.

Na fração argila desferrificada saturada com magnésio e glicolada após ser saturada com potássio e aquecida a 350°C, observou-se claramente a expansão difusa de vermiculita com hidróxi entre camadas no solo CoP1 com pico de 1,4 nm para 1,6 nm, indicando o seu

colapso quase completo, demonstra que o grau de preenchimento entre as camadas não é muito expressivo (BARNHISEL e BERTSCH, 1989). Isso sugere que a complexação matéria orgânica-alumínio, observada nos resultados da extração com pirofosfato (Alp) (item: 4.4), esteja contribuindo para este fraco preenchimento.

No solo CiP2, a expansão difusa de vermiculita com hidróxi entre camadas revelou tendência ao colapso característico a 1,0 nm. Nesse caso, o contraste observado indica uma diferença entre os dois ambientes, no que se refere à possibilidade de formação de esmectita, positiva no solo CoP1 e negativa no solo CiP2. De acordo com KELLER (1964), a gênese da esmectita está associada a condições de elevada relação Si/Al, abundância de Mg, Ca, Na e Fe e baixa concentração de íons H. No entanto, tais condições não são encontradas de maneira tão evidente no solo CiP2, visto que esse solo apresenta empobrecido em bases em relação ao solo CoP1.

A fração silte de ambos os solos apresenta quartzo como mineral dominante,

mas também illita, caulinita e ilmenita como acessório. A fração areia, por sua vez, é constituída essencialmente por quartzo e alguma ilmenita no solo CoP1.

Na fração argila, em que foram concentrados os óxidos de ferro ocorrem goethita e hematita, além de lepidocrocita.

A comparação dos teores de óxidos do ataque sulfúrico, entre os dois solos e mesmo entre os horizontes de um mesmo solo, evidencia a característica da variabilidade dos materiais sedimentares, o que não é mostrado pela mineralogia dos solos.

O comportamento do  $Al_2O_3$  em todos os horizontes evidenciou sua pequena mobilidade. Isso sugere, que parte do alumínio liberado no intemperismo esteja formando intercâmara com o ferro ferroso ( $Fe^{2+}$ ) presente em argilas 2:1, como a vermiculita com hidróxi entre camadas (VHE). Essa hipótese baseia-se, principalmente, nos padrões de raios-X. Os padrões de raios-X mostram espaçamentos 1,4 nm parcialmente em colapso, indicando silicatos 2:1 com lâminas de OH nas intercâmaras.

**Tabela 4:** Teores de  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $K_2O$  obtidos pelo ataque sulfúrico na TFSA, relações moleculares Ki, Kr e  $Al_2O_3/Fe_2O_3$  do solo CoP1 (Ambiente Cordilheira) e CiP2 (Ambiente Campo de inundação periódica)

Horiz.	Prof.	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$TiO_2$	$K_2O$	Ki	Kr	$Al_2O_3/Fe_2O_3$	$\Sigma$ (óxidos)
---- cm ----		----- dag $kg^{-1}$ -----								
----- CoP1- Luvissole Hipocrômico Órtico planossólico -----										
A	0-18	11,53	4,79	2,32	0,17	0,73	4,09	3,13	3,24	20
2Bt	18-51	31,09	14,23	5,57	0,34	1,45	3,71	2,97	4,01	53
2BC	51-100	30,30	12,95	5,58	0,32	1,42	3,98	3,12	3,64	51
2C1	100-119	30,33	17,25	4,63	0,40	2,03	2,99	2,55	5,85	55
2C2	119-134	46,28	20,11	5,05	0,38	1,98	3,91	3,37	6,25	74
3Cr	134-150+	8,11	3,62	0,90	0,08	0,45	3,81	3,29	6,31	13
----- CiP2 - Gleissolo Háptico Tb Distrófico argissólico -----										
A	0-9	14,90	6,48	1,21	0,17	0,87	3,91	3,49	8,41	24
Btg1	9-26	31,80	16,85	5,14	0,32	1,56	3,21	2,69	5,15	56
2Btg2	26-53	21,34	9,90	4,77	0,20	1,03	3,66	2,80	3,26	37
2Cg1	53-70	18,59	9,23	3,35	0,15	0,76	3,42	2,78	4,33	32
2Cg2	70-90+	19,23	10,06	4,33	0,28	0,8	3,25	2,55	3,65	35

Os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  são baixos e condizentes com os processos hidromórficos atuantes nesses solos. Eles encontram-se na mesma ordem de grandeza daqueles encontrados pela SBCS (2002), na sub-região do Pantanal de Poconé. Embora os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  não sejam elevados, o poder pigmentante dos óxidos de ferro, em especial da hematita, imprime aos solos tonalidades avermelhadas, o que é mais expressivo no solo CoP1.

A variabilidade dos teores de  $\text{TiO}_2$  está relacionada e evidencia as descontinuidades litológicas observadas nos solos.

Os teores de  $\text{K}_2\text{O}$  apresentam grandes variações nos dois solos e, estão associados à variabilidade e natureza do substrato rico em ilita. Os relativamente elevados de K, que foram observados no complexo de troca, podem indicar que a ilita apresenta-se bastante alterada. Considerando que os sedimentos são ricos em micas, é possível que a origem da VHE, nestes solos, obedeça à seqüência mica – ilita – vermiculita – vermiculita com hidróxi entre camadas (BARNHISEL e BERTSCH, 1989) e seja favorecida pelas condições de acidez do meio.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os solos CoP1 (ambiente Cordilheira) e CiP2 (ambiente Campo de inundação periódica) estão situados na sub-região do Pantanal de Poconé, cujas características ambientais, tais como relevo, vegetação, material de origem e hidromorfismo os caracterizam, até certo ponto, como semelhantes. Entretanto, os solos são diferentes e as diferenças refletem a sua gênese, onde uma pequena variação de cota promovendo uma variação da intensidade do hidromorfismo é o principal fator.

O tipo de drenagem, pobre ou às vezes impedida, refletindo as condições ambientais e em especial o relevo plano, permite a inserção dos solos na classe dos não hidromórficos (CoP1) e hidromórficos (CiP2). Esta característica, em conjunto com a presença de descontinuidades litológicas no material de origem dos solos, explica, em grande parte, a

maioria das características genéticas dos solos. As morfológicas refletem o tipo de drenagem, onde a ocorrência do processo da redução é particularmente evidente no solo CiP2, apresentando cores com tonalidades acinzentadas. O mesmo acontece no solo CoP1, porém predomina o matiz 5YR com tonalidade mais avermelhada, o que indica menor gleização.

A contribuição do hidromorfismo na gênese desses solos ocorre em sentido ascendente, em função da presença de lençol freático elevado e, também, em sentido descendente, em função de características morfológicas, sobretudo da presença de um horizonte B textural compacto e pouco permeável, que é condição favorável a estagnação superficial de água que leva à ocorrência do processo de pseudo-gleizamento, sendo mais evidente no solo CiP2.

Esse processo somente ocorre se considerarmos que, na época úmida, o horizonte A fica saturado com água. Isso ocorre porque o horizonte B é mais compacto, pouco permeável e apresenta uma estrutura com grau forte. Esta característica tende a favorecer a estagnação superficial da água após o período chuvoso, formando-se assim uma zona saturada com água acima do horizonte B compacto e pouco permeável. Durante o período de estagnação da água aparentemente não há penetração da água nos agregados, em função do grau forte de estabilidade da estrutura dos solos. Quando da passagem dos meses chuvosos para os meses secos, a água antes estagnada evapora-se em função das altas temperaturas ou escoar-se por canais de drenagem formados em função da contração dos solos, ocorrendo o hidromorfismo descendente.

A identificação feita a campo, da presença de pequenas raízes ao longo dos solos, pode favorecer uma rápida absorção dos restos da umidade antes em excesso e, desse modo, o ferro ferroso tende a precipitar sob a forma férrica em zonas de melhor oxidação, formando os mosqueados, sobretudo os identificados na parte inferior

do horizonte A dos solos. De fato, no horizonte B apenas há transformação do ferro ao longo e nas proximidades dos locais de drenagem preferencial durante a época úmida ou influência de lençol freático elevado. Nesse horizonte, nos canalículos formados pelas raízes dá-se a lixiviação do ferro solubilizado, resultando na existência de canais de cor acinzentada identificados na descrição do solo CiP2.

Considerando o conjunto das propriedades dos solos, pode-se avaliar que são pouco favoráveis a cultura de modo geral, principalmente, se envolver práticas que alterem as condições atuais de equilíbrio dos ambientes, como a irrigação, adubação, etc. Características como o desbalanço do complexo de troca presente nos dois solos, os elevados teores de alumínio trocável e os altos teores de sódio trocável, em especial, no solo CoP1 complicam ainda mais o problema.

As limitações naturais e o apelo preservacionista dos órgãos ambientais, em relação ao Pantanal Mato-grossense, indicam que a alternativa mais adequada de uso dos solos seja como reserva natural e ecoturismo, onde há menos interferência no equilíbrio natural dos ambientes. Também é viável o uso como pastagens naturais, em particular aquelas presentes nos campos de inundação periódica, desde que obedeça a sua baixa capacidade de suporte, sendo esta a opção mais viável para as condições de pecuária extensiva, considerada atividade histórica e com papel estratégico no desenvolvimento da região.

Os resultados para as características morfológicas indicaram que o tipo de drenagem dos ambientes teve contribuição distinta na gênese dos solos, sendo a cor a propriedade que mais visivelmente evidenciou essa diferença, ocorrendo cores com matizes mais avermelhado no solo CoP1 e mais acinzentado no solo CiP2.

A presença de descontinuidades litológicas e o tipo de drenagem pobre ou às vezes impedida nos solos permitiram explicar a maioria das características morfológicas, físicas e químicas dos solos. Não sendo eficiente na distinção quanto às características mineralógicas dos solos. A mineralogia dos

solos, entretanto, não foi influenciada por esses fatores.

A variação de hidromorfismo entre os solos, associada à pequena diferença de cota, é fator de maior importância na pedogênese dos solos e, também, um dos principais critérios de diferenciação dos ambientes.

A presença de características morfológicas, como horizonte B compacto e pouco permeável, em particular no solo CiP2, favoreceu a estagnação superficial da água que levou a ocorrência do pseudo-gleizamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB' SABER, A N. O Pantanal Mato-Grossense e a teoria dos Refúgios. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 9-57, 1988.

ALVARENGA, S.M.; BRASIL, A E.; PINHEIRO, R; KUX, H.J.H. **Estudo geomorfológico aplicado à bacia do Alto Paraguai e Pantanaís Mato-grossenses**. Salvador: RADAMBRASIL, 1984. p. 89-183.

BARNHISEL, R. I.; BERTSCH, P.M. Chlorites and Hydroxy-Interlayered Vermiculite and Smectite. In: DIXON, J. B. e WEED, S. B. (eds.) **Minerals in soil environments**. Madison, USA: Soil Sci. Soc. Am., 1989. p. 729-779.

BARROS, A M.; SILVA, R. H.; CARDOSO, O R. F. A; FREIRE, F. A; JÚNIOR, J. J. S.; RIVETTI, M.; LUZ, D. S.; PALMEIRA, R. C. B.; TASSINARI, C. C. G. **Geologia: Projeto RADAMBRASIL**. Folha SD. 21 Cuiabá. Rio de Janeiro: RADAMBRASIL, v. 26, 1982. p. 25-192.

BOGGAARD, O. K. Phase identification by selective dissolution techniques In: STTUCKI, J.W.; GOODMAN, B. A.; SCHWERTMANN, U. (eds). **Iron in Soils and Clays Minerals**. Dordrecht: Reidel Pub. Comp., p. 83-98, 1988.

CONFFIN, D. E. A Method for the Determination of Free Iron in Soils and Clays. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, 1963. p.7-17.

CUNHA, N. G. **Considerações sobre os solos da sub-região da Nhecolândia, Pantanal Mato-grossense**. Corumbá: EMBRAPA-UEPAE, 1980. 45 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 212p. 1997.

FRANCO, M. do S. M.; PINHEIRO, R. **Geomorfologia**. Projeto RADAMBRASIL. Folha SE.21 Corumbá. Rio de Janeiro: RADAMBRASIL, 1982. v. 27, p. 161-224.

GARCIA, E. A. C. **O clima do Pantanal Mato-Grossense**. Corumbá: EMPRABA-UEPAE, 1984. 42 p.

JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis – advanced course**. Madison: Uniniversity Wisconsin, 1956.

KAMPF, N. e SCHWERTMANN, U. The 5 M-NaOH concentration treatment for iron oxides in soil. **Clays and Clay Minerals**, Lawrence, v.30. p. 401-408. 1982.

KAMPF, N. O ferro no solo. In: REUNIÃO SOBRE FERRO EM SOLOS INUNDADOS, 1. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA – CNPAF, 1986. p. 35-47.

KELLER, W. L. Processes of origem and alteration of clay minerals. In: SYMP, A., RICH, C.I., KUNZE, G.W. **Soil Clay Mineralogy**. Univ. Of North Carolina Press: 1964. p. 3-76.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3. ed. Campinas: SBCS, 1996. 84 p.

McKEAGUE, J. A.; DAY, J. H. Dithionite and Oxalate-Extractable Fe and Al as Aids in Differentiating Various Classes of Soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ontario, n. 46, 1966. p. 13-22.

SBCS. in: Reunião Brasileira De Manejo e Conservação do Solo e da Água, 14 RBMCSA. Guia da excursão técnica da RBMCSA, 14. **Anais...** Cuiabá: UFMT, 2002. 68 p.

SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, R. M. Iron Oxides. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (orgs.). **Minerals in soil environments**. 2. ed. Madison: soil. Sc. Soc. Of Am., 1989. p. 379-438.

TARIFA, J. R. O sistema climático do Pantanal: da compreensão do Sistema à Definição de Pesquisa Climática. In: Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-econômicos do Pantanal, 1. **Anais...** Corumbá, MS: EMBRAPA-DDT, 1986. p. 9-27.

**Data de submissão:** 06.06.2012

**Data de aceite:** 30.07.2012

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.