

**QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE
PASTAGENS CULTIVADA E NATIVA NA
SUB-REGIÃO DA NHECOLÂNDIA,
PANTANAL SUL MATO-GROSSENSE**

EVALDO LUIS CARDOSO

2008

EVALDO LUIS CARDOSO

**QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE PASTAGENS CULTIVADA
E NATIVA NA SUB-REGIÃO DA NHECOLÂNDIA, PANTANAL SUL
MATO-GROSSENSE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras
como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Ciência do Solo, para obtenção do título
de “Doutor”.

Orientador

Prof. Marx Leandro Naves Silva

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2008

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Cardoso, Evaldo Luis.

Qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e nativa
na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense /
Evaldo Luis Cardoso. – Lavras : UFLA, 2008.

154 p. : il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2008.

Orientador: Marx Leandro Naves Silva.

Bibliografia.

1. Sustentabilidade. 2. Conservação ambiental. 3. Fertilidade do
solo. 4. Matéria orgânica do solo. I. Universidade Federal de Lavras. II.
Título.

CDD – 631.8

IVALDO LUIS CARDOSO

**QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE PASTAGENS CULTIVADA
E NATIVA NA SUB-REGIÃO DA NHECOLÂNDIA, PANTANAL SUL
MATO-GROSSENSE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras
como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Ciência do Solo, para obtenção do título
de “Doutor”.

APROVADA em 12 de novembro de 2008

Prof. Dr. José Aldo Alves Pereira	UFLA/DCF
Prof. Dr. Mozart Martins Ferreira	UFLA/DCS
Prof. Dr. Nilton Curi	UFLA/DCS
Dra. Sandra Aparecida Santos	Embrapa Pantanal

Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva
UFLA/DCS
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

Às três mulheres da minha vida: Sônia,
minha adorável esposa, Luiza e Lara, minhas
duas preciosidades, para as quais o meu amor
é incondicional e infinito.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus e à Nossa Senhora Aparecida, pela constante proteção à minha vida e de toda minha família.

Às instituições que viabilizaram a realização deste trabalho: Embrapa Pantanal, UFLA/DCS e CNPq.

Ao Prof. Marx Leandro Naves Silva, pela orientação e, sobretudo, confiança e convívio durante a realização do curso.

Aos membros da banca, Prof. Marx Leandro Naves Silva, Prof. José Aldo Alves Pereira, Prof. Mozart Martins Ferreira, Prof. Nilton Curi e Pesquisadora Sandra Aparecida Santos, pelas críticas e sugestões para a melhoria deste trabalho.

Ao Diego, Gabriela, Júnior, Narjara, Rodolfo e funcionários do Departamento de Ciência do Solo, especialmente os laboratoristas, pelo importante apoio na realização de todas as análises laboratoriais.

Aos professores e colegas de pós-graduação pelo convívio.

Aos funcionários da Embrapa Pantanal, em especial Beto Pellegrin, Oslain, José Augusto, Haroldinho e Marcos Tadeu pelo apoio em diversas etapas de realização deste trabalho.

Ao amigo e colega Amaury de Carvalho Filho e sua família, pelo apoio na descrição e coleta de perfis e pela agradável convivência em Lavras durante a realização do curso.

Aos meus pais e irmãos pelo carinho e apoio em todos os momentos de minha vida.

À minha esposa e filhas, pela compreensão e paciência nos momentos difíceis e pelo amor e incentivo.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO GERAL.....	i
GENERAL ABSTRACT.....	iii
CAPÍTULO 1.....	1
1 Introdução Geral.....	2
2 Referências Bibliográficas.....	14
CAPÍTULO 2: Inter-relações solo, regime de inundação e unidades de paisagem na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense.....	18
1 Resumo.....	19
2 Abstract.....	20
3 Introdução.....	21
4 Material e Métodos.....	23
5 Resultados e Discussão.....	28
6 Conclusões.....	41
7 Referências Bibliográficas.....	42
CAPÍTULO 3: Indicadores da qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense. I – Atributos químicos.....	47
1 Resumo.....	48
2 Abstract.....	49
3 Introdução.....	50
4 Material e Métodos.....	51
5 Resultados e Discussão.....	57
6 Conclusões.....	70
7 Referências Bibliográficas.....	71
CAPÍTULO 4: Indicadores da qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense. II – Atributos físicos.....	76
1 Resumo.....	77
2 Abstract.....	78
3 Introdução.....	79
4 Material e Métodos.....	81
5 Resultados e Discussão.....	84
6 Conclusões.....	97

7 Referências Bibliográficas.....	97
CAPÍTULO 5: Indicadores da qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense. III - Atributos biológicos.....	
1 Resumo.....	103
2 Abstract.....	104
3 Introdução.....	105
4 Material e Métodos.....	106
5 Resultados e Discussão.....	108
6 Conclusões.....	111
7 Referências Bibliográficas.....	120
CAPÍTULO 6: Índice de qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense.....	
1 Resumo.....	125
2 Abstract.....	126
3 Introdução.....	127
4 Material e Métodos.....	128
5 Resultados e Discussão.....	130
6 Conclusões.....	139
7 Referências Bibliográficas.....	150
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	153

RESUMO GERAL

CARDOSO, Evaldo Luis. **Qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense**. 2008. 154 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG*

O Pantanal Mato-Grossense é uma das maiores extensões úmidas contínuas do planeta e onde se desenvolve uma fauna e flora de rara beleza e abundância. Favorecida pela riqueza dos recursos naturais, a pecuária de corte, conduzida em sistemas extensivos de criação, constitui a principal atividade econômica. Contudo, a busca por aumentos de produtividade e maior competitividade dessa pecuária tem levado a desmatamentos para implantação de pastagens, despertando preocupações quanto à sustentabilidade dos sistemas de produção do Pantanal. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar a qualidade do solo de sistemas de pastagens cultivada e nativa no Pantanal, a fim de constituir ferramenta que possa auxiliar o monitoramento da sua sustentabilidade. Para tanto foram conduzidos dois estudos independentes: um em que se procurou avaliar as inter-relações solo, regime de inundação e unidades de paisagens na sub-região da Nhecolândia, visando subsidiar o manejo sustentável das pastagens nativas do Pantanal; e outro em que foram avaliadas as alterações nos atributos químicos, físicos e biológicos dos solos em sistemas de pastagem cultivada em substituição à floresta nativa e em pastagem nativa submetida ao sistema de pastejo contínuo, sendo gerados dois índices para estimativa da qualidade do solo. A partir do levantamento planialtimétrico de uma área de 151 ha, localizada em propriedade característica da sub-região da Nhecolândia, foram avaliados os atributos físicos e químicos de unidades de paisagem sujeitas a diferentes regimes de inundação: livres de inundações (LI) - floresta semidecídua e cerrado; sujeitas à inundações ocasionais (IO) - campo cerrado e campo limpo com predominância de *Elyonurus muticus*; sujeitas à inundações periódicas (IP) - campo limpo com predominância de *Axonopus purpusii* e *Andropogon* spp, bordas de baías e vazantes e baixadas. Em ambientes de florestas nativas, pastagens de *Brachiaria decumbens*, implantadas em substituição às florestas nativas e com diferentes idades de formação, e pastagens nativas sob sistema com pastejo contínuo, vedadas por 3 anos e sem pastejo por 19 anos (Reserva), também localizadas em propriedades na Nhecolândia, foram avaliados os atributos químicos, físicos e biológicos do solo e gerados dois índices de qualidade do solo (IQS₁ e IQS₂). O IQS₁ foi calculado

*Orientador: Prof. Marx Leandro Naves Silva (UFLA/DCS)

a partir dos desvios dos atributos do solo dos sistemas de pastagens cultivada e nativa em relação aos respectivos ambientes naturais (referência); e o IQS_2 foi calculado a partir de um modelo aditivo que considera as funções principais do solo e os indicadores de qualidade a elas associados, sendo atribuídos pesos tanto para as funções como para os indicadores. O solo predominante nas unidades de paisagem é Neossolo Quartzarênico, com caráter hidromórfico nas unidades sujeitas à inundações periódicas. À exceção da floresta semidecídua, as demais unidades de paisagem apresentaram fertilidade natural do solo muito baixa. As unidades sujeitas às inundações ocasional e periódica foram mais suscetíveis à degradação dos atributos físicos, possivelmente decorrente do maior pisoteio dos animais. As inter-relações solo, regime de inundação e unidades de paisagem sugerem que a ocorrência e extensão das unidades de paisagem devem ser consideradas no estabelecimento das estratégias de manejo sustentável das pastagens nativas. A análise integrada dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo dos diferentes ambientes do Pantanal evidenciou que os sistemas de pastagens cultivada e nativa promoveram redução significativa da qualidade do solo, sendo as reduções mais expressivas evidenciadas na substituição da floresta nativa por pastagem cultivada. Os dois índices de qualidade do solo gerados foram eficientes em refletir a variação da qualidade do solo nos diferentes ambientes do Pantanal. Portanto, os mesmos são passíveis de adoção no monitoramento da sustentabilidade de sistemas de produção.

GENERAL ABSTRACT

CARDOSO, Evaldo Luis. **Soil quality of cultivated and native pastures systems in the Nhecolandia sub-region, South Pantanal Wetlands.** 2008. 15 p. Thesis (Doctorate in Soil Science) – Federal University of Lavras, MG¹

The Pantanal is one of the planet's largest continuous wetlands areas and where fauna and flora of outstanding beauty and abundance develops. Favored by the richness of natural resources, beef cattle raising, conducted in extensive raising systems, constitutes the chief economic activity. However, the search for yield increases and greater competitiveness of this cattle raising has led to land clearing for cultivated pasture establishment, raising concerns about the sustainability of the Pantanal production systems. The objective of this work was to evaluate the soil quality of cultivated and native pastures systems in the Pantanal Wetlands in order to constitute a tool which can aid in the monitoring of its sustainability. In view of this, two independent studies were conducted: one in which the interrelationships among soil, flooding regime and landscape units in the Nhecolandia sub-region were evaluated, aiming to assist the sustainable management of native pasture of the Pantanal Wetland; and the other in which the alterations in soil chemical, physical and biological attributes of cultivated pasture in replacement of the native forest and in native pasture submitted to the continuous grazing system were evaluated, generating two indexes for the estimation of soil quality. From the planialtimetric survey of a 151 ha area, situated on a farm characteristic of the Nhecolandia sub-region, the physical and chemical attributes of the landscape units subject to different flooding regimes were evaluated, as follows: flood free (FF) – semideciduous forest and forested savannah; subject to occasional floodings (OF) – arboreal savannah and open grasslands with predominance of *Elyonurus muticus*; subject to periodical floodings (PF) - open grasslands with predominance of *Axonopus purpusii* and *Andropogon* spp, edge of ponds and temporary channels and lowlands. In native forest environments, *Brachiaria decumbens* cultivated pastures of different formation ages established in replacement of the native forests and native pasture under a continuous grazing system, without grazing for 3 years and without any grazing for 19 years (ecological reserve), also located on Nhecolandia farms, the chemical, physical and biological attributes of soil were evaluated and two soil quality indexes (SQI₁ and SQI₂) were generated. SQI₁ was calculated from the deviations of the soil attributes of the cultivated and native pastures systems relative to the respective natural environments (reference); and SQI₂ was calculated from an additive model

¹Adviser: Prof. Marx Leandro Naves Silva (UFLA/DCS)

which considers the main soil functions and the quality indicators associated to them, weights being ascribed both to the functions and to the indicators. The predominant soil in the landscapes units is Quartzarenic Neosol (Entisol), with a hydromorphic character in the units subject to periodic floodings. With the exception of the semideciduous forest, the other landscape units presented very poor natural soil fertility. The units subject to occasional and periodic flooding were more susceptible to degradation of the physical attributes, possibly due to the more intense animal traffic. The interrelationships among soil, flooding regime and landscape units suggest that the occurrence and extent of the landscape units should be considered in the establishment of native grassland sustainable management strategies. The integrated analysis of the chemical, physical and biological attributes of soil of different environments of the Pantanal Wetlands gave evidence that the cultivated and native pastures systems promoted a significant reduction of soil quality, the most notable reductions being evidenced by the replacement of the native forest by cultivated pasture. The two soil quality indexes generated were effective in reflecting the variation of soil quality in the different Pantanal environments. Therefore, they are capable of being adopted in the sustainability monitoring of the production systems.

CAPÍTULO 1

1 Introdução Geral

Localizado no centro da América do Sul, aproximadamente entre os paralelos 16° a 22° de latitude Sul e os meridianos 55° a 58° de longitude a Oeste de Greenwich, o Pantanal é uma das maiores extensões úmidas contínuas do planeta, onde se desenvolve uma fauna e flora de rara beleza e diversidade. Formado há milhares de anos com o soerguimento da Cordilheira dos Andes, o Pantanal caracteriza-se como uma imensa planície sedimentar contínua, com baixas declividades de Leste para Oeste (30 a 50 cm km⁻¹) e menores ainda de Norte para o Sul (3 a 15 cm km⁻¹) (Brasil, 1982). No Brasil é integrante da bacia hidrográfica do Alto Paraguai, abrangendo os estados de Mato Grosso (35%) e Mato Grosso do Sul (65%), com área de, aproximadamente, 140.000 km² e altitude variando entre 80 a 170 m. A bacia hidrográfica do Alto Paraguai, por sua vez, compreende o Pantanal e os planaltos adjacentes, drenados pelo Rio Paraguai, principal canal de drenagem da bacia. O planalto cristalino que circunda o Pantanal tem altitude de 600 a 700 m e representa fonte de água e sedimentos (Godói Filho, 1984).

O clima da região é tropical sub-úmido (Aw, de Köppen), com temperatura média anual de 26 °C (Cadavid Garcia, 1986). A precipitação média, na parte que engloba toda a área da planície, varia de 800 a 1.200 mm (Júnior, 1997). O Pantanal está sujeito à alternância de estações chuvosas e secas, definindo o clima como de caráter estacional e apresenta ainda, uma variabilidade plurianual, ou seja, alternância de ciclos de anos muitos chuvosos ou relativamente secos (Adámoli, 1995). O comportamento hidrológico do Pantanal interfere decisivamente na sua produção primária. O ciclo periódico de seca e inundação, também chamado de pulso de inundação (Junk & Silva, 1999) é um dos fatores que regem a biodiversidade do Pantanal, pois ora favorece as espécies animais e vegetais associadas à fase de seca, ora favorece as espécies

associadas à fase de cheia. Além disso, uma fase favorece a outra, ou seja, espécies vegetais terrestres mortas pela inundação, fornecerão, através de sua decomposição, nutrientes e sais que contribuirão para o desenvolvimento das espécies vegetais aquáticas e vice-versa (Calheiros & Ferreira, 1996).

As cheias no norte do Pantanal ocorrem durante o período de janeiro a março, atingindo o sul do Pantanal de abril a junho. A inundação máxima ocorre no início de fevereiro na região norte e, no final de junho, na região sul, refletindo as dificuldades de escoamento das águas superficiais (Hamilton et al., 1996). As inundações constituem um fenômeno ecológico limitado no espaço e no tempo, diferenciado quanto à intensidade, duração e profundidade. A inundação pode ocorrer devido ao acúmulo de águas pluviais ou pelo aporte de água proveniente do planalto adjacente, sendo maximizada pelo lento escoamento superficial dos cursos d'água que extravasam e pela elevação do lençol freático (Silva, 1986). De um terço à metade do Pantanal estão sujeitos à inundação fluvial e o restante por chuva local.

Nesse regime de inundação periódica, o hidromorfismo é a feição dominante, refletindo a drenagem deficiente e influenciando os solos, desenvolvidos a partir de sedimentos recentes. Desde o Quaternário, o rio Paraguai e seus afluentes depositam sedimentos nessa superfície de acumulação (Brasil, 1982). A parte norte do Pantanal é formada, predominantemente, por solos que possuem o horizonte sub-superficial de textura mais argilosa; já a parte central é formada por sedimentos arenosos, transportados pelo rio Taquari, resultando no chamado “leque do Taquari”; a parte sul é formada por sedimentos de natureza argilosa, depositados principalmente pelos rios Miranda, Negro e Paraguai (Amaral Filho, 1986). As classes de solos de maior expressão no Pantanal são apresentadas na Figura 1.

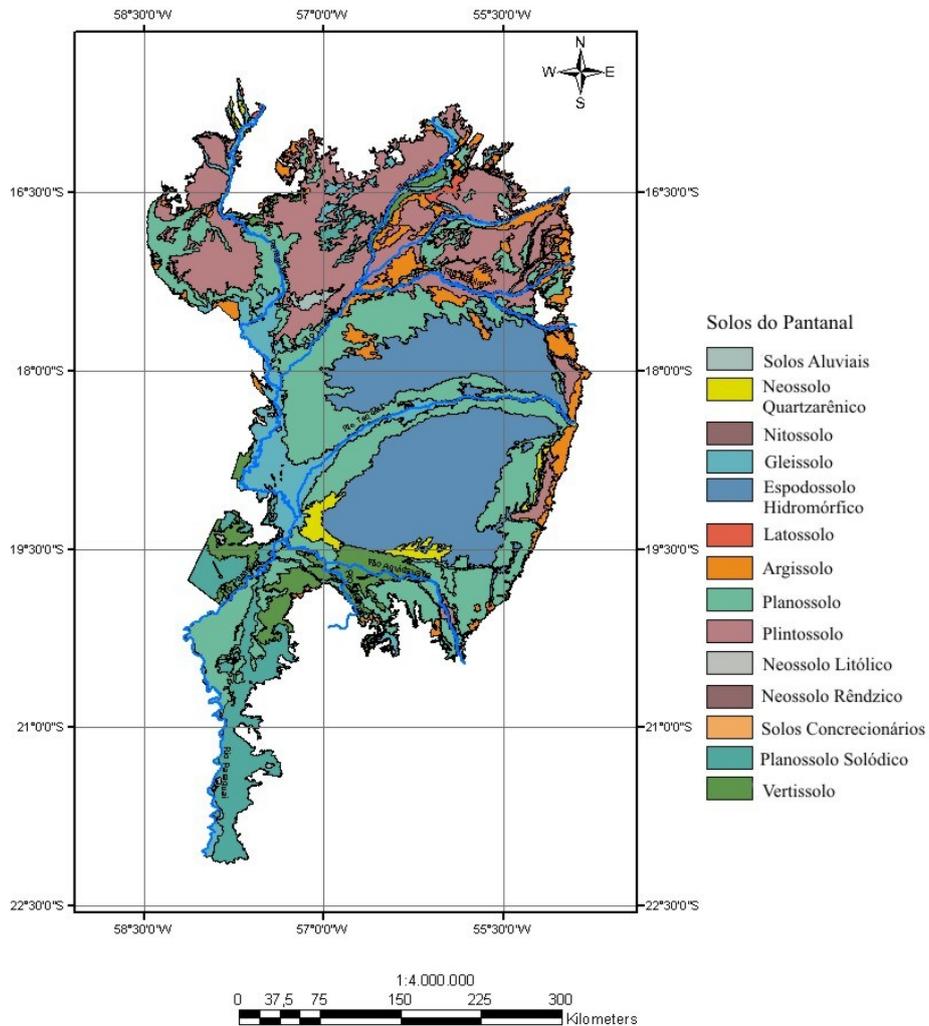


FIGURA 1. Classes de solos predominantes no Pantanal Mato-Grossense.
Fonte: Santos et al. (1997).

Por sua posição central em relação à América do Sul, o intercâmbio entre elementos da Floresta Amazônica, Cerrado, Chaco e Mata Atlântica favoreceram a diversidade da fauna e flora do Pantanal (Adámoli, 1995). A unidade fitogeográfica mais extensa no Pantanal é representada pelas Savanas ou

Cerrados, abrangendo áreas do Pantanal Leste, Nordeste e Sudeste em direção ao Centro-Oeste; a floresta tropical amazônica exerce influência nas unidades ao Norte e Noroeste do Pantanal, contemplando padrões de floresta decíduas e semidecíduas; a Sudeste a influência é da Mata Atlântica e a Sudoeste e ao Sul é do Chaco (Savana Estépica), que vem do Leste boliviano e Noroeste paraguaio (Adámoli, 1982). Portanto, a vegetação do Pantanal é bastante diversificada, sendo os mosaicos de diferentes formações vegetacionais ordenados pelos gradientes topográficos, destacando-se a mata, o cerradão e o cerrado em cordilheiras (cordões arenosos); o campo com gramíneas, campo com arbustos e o campo cerrado em cotas intermediárias; e as plantas aquáticas e palustres nas partes mais baixas e corpos d'água (Pott, 1988). Destacam-se ainda comunidades vegetais dominadas por uma única espécie, sendo reconhecidas pelo nome da mesma, como por exemplo, o “canjiqueiral” (dominado por canjiqueira – *Byrsonima intermédia*, arbusto de cerrado), “carandazal” (carandá – *Copernicia alba*, palmeira do Chaco), “paratudal” (paratudo – *Tabebuia aurea*), o “cambarazal (cambará - *Vochysia divergens*, árvore amazônica), etc.

As interações entre os fatores bióticos e abióticos resultaram em grande heterogeneidade de paisagens dentro da planície, de tal forma que a própria população local reconhece a existência de diversos pantanais. Com base em aspectos relacionados à inundação, relevo, solo e vegetação, Silva & Abdon (1998) delimitaram o Pantanal em onze sub-regiões (Figura 2). Dentre elas, destaca-se a sub-região da Nhecolândia, localizada na porção centro-meridional do Pantanal, com área de aproximadamente 26.000 km², formada por sedimentos quaternários de constituição essencialmente arenosa, resultado dos depósitos aluvionares à margem esquerda do rio Taquari. A sub-região da Nhecolândia caracteriza-se por uma paisagem composta de um mosaico de formações vegetais de aspectos diversos, que compreendem campos inundáveis, cerrados, cerradões e florestas, entremeadas a um complexo sistema de lagoas

permanentes ou semipermanentes, localmente denominadas “baías” (lagoas de água doce) e “salinas” (lagoas de água salobra).

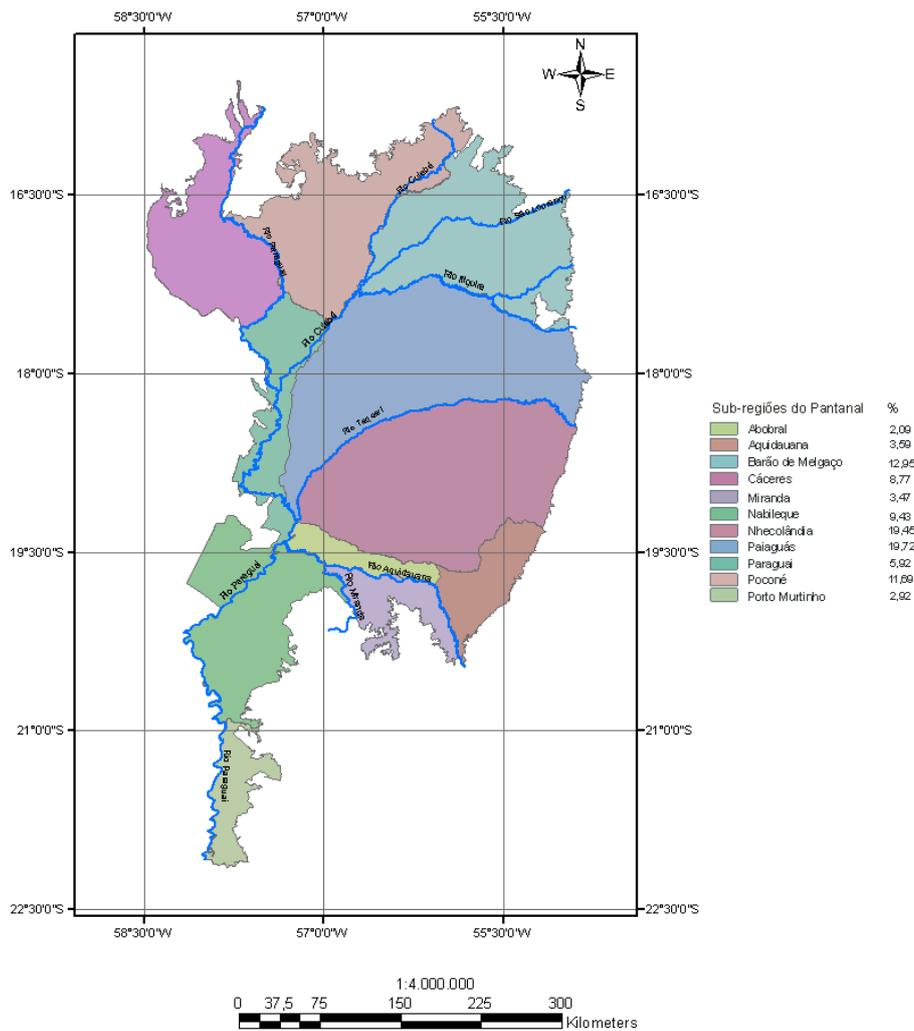


FIGURA 2. Localização e delimitação das sub-regiões do Pantanal Mato-Grossense.
 Fonte: Silva & Abdon (1998).

Nesse ambiente, marcado pela elevada fragilidade ambiental e reconhecido em nível mundial como de grande importância para a manutenção da biodiversidade, a pecuária de corte, conduzida por mais de duzentos anos, tem sido a principal atividade econômica. Desenvolvida em sistemas extensivos de criação, geralmente em grandes propriedades com poucas divisões, seus índices zootécnicos são relativamente baixos, sendo uma das principais causas a subnutrição, decorrente da estacionalidade das pastagens nativas. Diante da globalização e mercados competitivos, a busca por aumentos de produtividade tem se intensificado em todas as regiões do país que criam bovinos exclusivamente a pasto, e no Pantanal não é diferente. Reconhecido como uma das maiores extensões úmidas contínuas do planeta e instituído pela UNESCO como Reserva da Biosfera, o Pantanal tem enfrentado grande pressão política, econômica e social diante da necessidade de compatibilizar aumentos de produtividade com a conservação ambiental.

A busca por aumentos de produtividade e maior competitividade da pecuária pantaneira tem levado à desmatamento das fisionomias arbóreas não inundáveis ou parcialmente inundáveis, para implantação de pastagem cultivada (Junk & Silva, 1999; Silva et al., 1998). Esse cenário tem despertado preocupação quanto à sustentabilidade dos agroecossistemas do Pantanal, tendo em vista que essas ações, de maneira geral, são conduzidas sem considerar as características peculiares dos distintos ambientes que compõem a paisagem e, invariavelmente, tendem a contribuir para o desequilíbrio ambiental e nem sempre resultam em aumentos de produtividade. Contudo, como a maior parte da região pantaneira é constituída de propriedades particulares, onde a pecuária é desenvolvida por cerca de duzentos anos, qualquer plano de conservação ou desenvolvimento dessa região deve, necessariamente, considerar essa que é a sua principal atividade econômica.

Portanto, o equilíbrio entre aumento de produtividade e conservação ambiental representa o anseio não só dos produtores, mas de toda a sociedade, devendo ser compatibilizado através da geração de informações e tecnologias que promovam o desenvolvimento dos sistemas de produção, bem como de instrumentos que permitam monitorar a sustentabilidade desses sistemas. Sendo assim, um modelo de desenvolvimento sustentável pressupõe um profundo conhecimento dos aspectos ecológicos, econômicos e sociais componentes do sistema de produção em questão.

Dentre os componentes ambientais, o elemento solo assume papel de destaque. Para Correia (1999), o desconhecimento do funcionamento global dos sistemas, tanto natural quanto de pastagens cultivadas em regiões tropicais, bem como das suas estratégias de manejo, constitui-se o principal responsável pela degradação dos solos. Segundo Doran & Parkin (1994), o manejo da terra é considerado sustentável apenas quando mantém ou melhora a qualidade dos recursos naturais, entre os quais o ar e o solo. Ainda, conforme os mesmos autores, ao solo são atribuídas as funções de sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde humana, animal e vegetal. Segundo Burger (1996), a avaliação direta das propriedades do solo parece ser a forma mais adequada de medir ou monitorar a sua conservação ou qualquer processo de degradação em curso.

Dessa forma, nos últimos anos a preocupação com a qualidade do solo tem merecido destacada atenção, na medida em que sua avaliação pode fornecer subsídios para o estabelecimento de sistemas racionais de manejo e contribuir para a manutenção de uma produção biológica sustentável. Segundo D'Andréa (2001), os conceitos de qualidade do solo, recentemente formulados, são úteis na avaliação de interferências antrópicas sobre o ambiente, uma vez que consideram a relação entre o solo e os demais componentes do ecossistema. O mesmo autor ressalta ainda que na passagem de sistemas naturais para agrícolas,

têm sido verificadas alterações em muitos atributos do solo, alguns dos quais, mais sensíveis às interferências antrópicas e diretamente relacionados às funções que o solo desempenha, indicam de maneira precoce mudanças na qualidade do solo.

A qualidade do solo foi definida, conforme Doran & Parkin (1994), como a capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro dos limites do ecossistema manejado ou natural, como sustento para o desenvolvimento de plantas e de animais, de manter ou de aumentar a qualidade da água e do ar e de promover a saúde humana. Larson & Pierce (1994), a enfatizam como uma combinação de propriedades físicas, químicas e biológicas que fornece os meios para a produção vegetal e animal, para regular o fluxo de água no ambiente e para atuar como um filtro ambiental na atenuação e degradação de componentes ambientalmente danosos ou perigosos. Para Lal & Miller (1993), os conceitos de qualidade do solo, sustentabilidade e resiliência estão intimamente ligados, sendo difícil discutir um sem mencionar o outro.

Desde a formulação dos conceitos de qualidade do solo, inúmeras linhas de avaliação têm sido propostas, como:

a) a avaliação da matéria orgânica do solo, que constitui fonte primária de nutrientes às plantas e exerce influência em diversos processos que ocorrem no solo (Conceição et al., 2005);

b) a quantificação de microrganismos e processos microbiológicos no solo, por interferirem ativamente nos teores de matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes, no fluxo de energia, na estrutura de agregados e, conseqüentemente, serem sensíveis às mudanças no ambiente do solo (Trannin et al., 2007);

c) a avaliação de atributos físicos, principalmente por estarem relacionados com o desenvolvimento do sistema radicular e com o movimento de água no perfil (Neves et al., 2007);

d) combinando os fatores de complexidade do ambiente solo, onde interagem inúmeros processos químicos, físicos e biológicos, com a definição de qualidade do solo, que reconhece as suas múltiplas funções (Tótola & Chaer, 2002), outras linhas sugerem a avaliação integrada de um conjunto de indicadores e sua expressão através de um índice geral de qualidade. Nesse caso, devem-se definir explicitamente as funções do solo que determinam a sua qualidade para o objetivo desejado, identificar os atributos de cada função e, então, selecionar um conjunto mínimo de indicadores para medir cada função (Doran & Parkin, 1994; Karlen & Stott, 1994; Larson & Pierce, 1994). Tótola & Chaer (2002), ilustram na Figura 3 as interações das funções do solo, com respeito à produção vegetal, com os atributos do solo, que podem ser resumidos nas suas qualidades físicas, químicas e biológicas. Os autores ressaltam que, de certa forma, a capacidade do solo de desenvolver todas as funções listadas está direta ou indiretamente ligada, e em graus de importância diferenciada, à qualidade apresentada por todos os atributos. Por exemplo, a função do solo de armazenar, suprir e ciclar nutrientes está diretamente relacionada a atributos biológicos, como a ciclagem de nutrientes, a atributos químicos, como a capacidade de troca catiônica e a atributos físicos, como o conteúdo de areia, de silte e de argila;

e) ainda segundo Islam & Weil (2000), a qualidade do solo pode também ser avaliada através do índice de deterioração do solo, para a qual os desvios das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo de uma área sob ação antrópica são comparados à linha base de uma área natural adjacente ou que apresente condições de solo e clima similares.

Diante das múltiplas funções que o solo apresenta, três exigências básicas devem ser atendidas no processo de avaliação e monitoramento da sua qualidade:

a) definir de forma adequada a função ou finalidade a que se destina a avaliação;

b) estabelecer, entre a multiplicidade de atributos físicos, químicos e biológicos do solo, aqueles que são pontos-chave para cada função do solo e definir a forma de integrá-los;

c) definir critérios específicos para a interpretação dos dados dos atributos selecionados, de forma a permitir estimativas confiáveis da qualidade do solo, para cada função (Doran & Parkin, 1994).

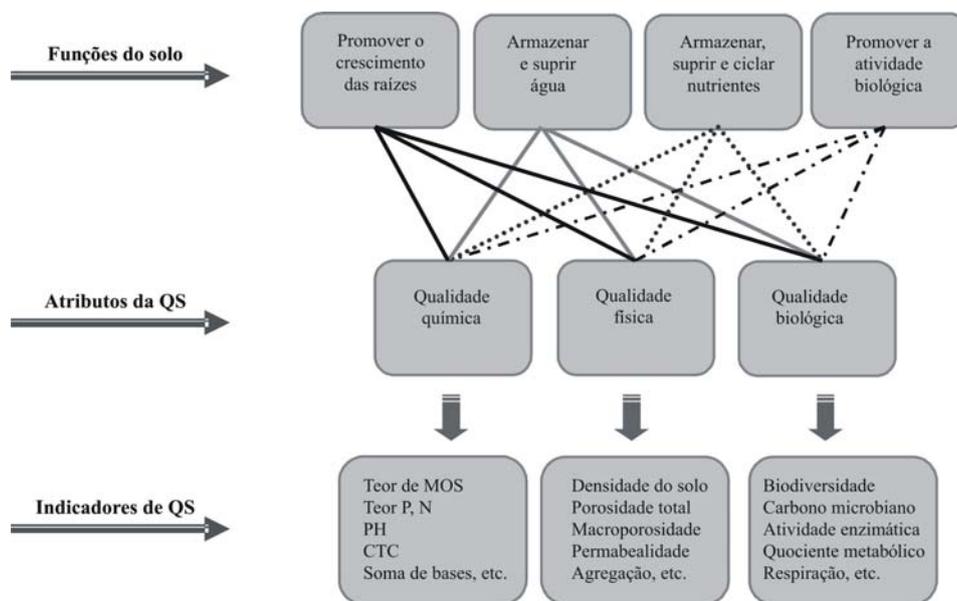


FIGURA 3. Funções do solo, atributos a elas relacionados e indicadores de qualidade do solo para a produção vegetal.
Fonte: Adaptado de Tótola & Chaer (2002).

Os atributos indicadores da qualidade do solo são definidos como propriedades mensuráveis que influenciam a capacidade do solo na produção das culturas ou no desempenho das funções ambientais (Doran & Parkin, 1996).

Para que esses atributos sejam capazes de indicar as alterações na qualidade do solo, os mesmos devem correlacionar-se bem com processos dentro do ecossistema; serem aplicados de modo relativamente fácil sob condições de campo e serem avaliados tanto por especialistas como por produtores; serem sensíveis a variações no manejo e no clima, refletindo mudanças na qualidade do solo, sem serem influenciados por alterações fortuitas; serem componentes de bancos de dados já existentes (Doran & Parkin, 1996).

Os autores Islan & Weil (2000) consideram três grupos de atributos na avaliação da qualidade do solo: o primeiro grupo está relacionado com os atributos denominados efêmeros, que são aqueles que representam alterações em curto espaço de tempo, dentre os quais podem ser citados temperatura, pH, conteúdo de água, respiração do solo e teores de nutrientes; o segundo grupo engloba atributos denominados intermediários, os quais são alterados com o manejo após alguns anos, podendo ser citados a quantidade de matéria orgânica, resistência à penetração do solo e permeabilidade do solo à água; e por último, têm-se os atributos definidos como permanentes, aqueles inerentes ao solo e que não sofrem alterações em curto prazo, dentre os quais se destacam componentes mineralógicos, textura, profundidade do solo e pedoclima.

Nos diversos estudos enfocando a qualidade do solo, destaque especial é atribuído ao cuidado necessário e complexidade de escolha dos indicadores de qualidade e definição de seus limites de sustentabilidade. De acordo com Tótola & Chaer (2002), a qualidade “ideal” para um solo não é conhecida, e o ideal irá diferir entre os vários tipos de solo e cultura que está ou será estabelecida. Portanto, é necessária a determinação de referenciais que possam servir de base para a interpretação e comparação. O critério de referência pode ser um sítio específico que representa uma área com tipo de solo e condições climáticas similares ou pode ser temporal, quando o valor referencial é obtido na amostragem inicial e a qualidade do solo é então monitorada por sucessivas

amostragens. Tótola & Chaer (2002) ressaltam que tem sido sugerido adotar como critério de referência as condições prevalentes em solos que suportam uma vegetação nativa e que tenham sofrido mínimos distúrbios antropogênicos (Doran et al., 1994; Trasar-Cepeda et al., 1998; Islam & Weil, 2000; Leirós et al., 2000).

O desenvolvimento de índices de qualidade do solo, seja para os agroecossistemas do Pantanal ou de qualquer outro importante ecossistema, pode constituir importante instrumento para monitorar a sustentabilidade dos sistemas de produção, visto que permitem caracterizar uma situação atual, alertar para situações de risco e prever situações futuras. Tais indicadores podem auxiliar na identificação do que está ocorrendo no sistema de manejo em curso, ou seja, se o manejo atual está contribuindo para aumentar ou diminuir a sustentabilidade do sistema de produção. O desenvolvimento de índices de qualidade do solo pode ainda subsidiar a elaboração e/ou redefinição de normas específicas para o uso dos solos em regiões mais suscetíveis a impactos ambientais. Especificamente para o Pantanal, ecossistema marcado pela elevada fragilidade ambiental e reconhecido como de grande importância para a manutenção da biodiversidade, é premente a necessidade de instrumentos que permitam monitorar a sustentabilidade de seus sistemas de produção, sob pena da intensificação das atividades produtivas comprometerem, irreversivelmente, a diversidade de seus recursos naturais.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo geral avaliar a qualidade do solo de sistemas de pastagens cultivada e nativa no Pantanal, com base em indicadores químicos, físicos e biológicos, a fim de constituir ferramenta que possa auxiliar o monitoramento da sua sustentabilidade. Como objetivos específicos destacam-se: i) estudar as inter-relações solo, regime de inundação e unidades de paisagens na sub-região da Nhecolândia, visando subsidiar o manejo sustentável das pastagens nativas do Pantanal; ii) avaliar as

alterações nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, em sistemas de pastagem cultivada em substituição à floresta nativa e em pastagem nativa submetida ao sistema de pastejo contínuo; iii) estabelecer índices para a estimativa da qualidade do solo em sistemas de pastagem cultivada em substituição à floresta nativa e em pastagem nativa submetida ao sistema de pastejo contínuo.

2 Referências Bibliográficas

ADÂMOLI, J. **Diagnóstico do Pantanal**: características ecológicas e problemas ambientais. Brasília: Programa Nacional do Meio Ambiente, 1995. 50p.

ADÂMOLI, J.O. Pantanal e suas relações fitogeográficas com o cerrado: discussão sobre o conceito “Complexo do Pantanal”. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 32., 1981, Teresina. **Anais...** Teresina: Sociedade Botânica do Brasil, 1982. p. 109-119.

AMARAL FILHO, Z.P. Solos do Pantanal Mato-grossense. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 1., 1984, Corumbá. **Anais...** Brasília: EMBRAPA-DDT, 1986. p. 91-103. (EMBRAPA-CPAP. Documentos, 5).

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Folha SE.21 Corumbá e parte da Folha SE.20**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1982. 452p. il. 5 mapas (Levantamento de Recursos Naturais, 27).

BURGER, J.A. Limitations of bioassays for monitoring forest soil productivity: rationale and exaple. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 60, n.6, p.1674-1678, Nov./Dec. 1996.

CADAVID GARCIA, E.A. **Estudo técnico-econômico da pecuária de corte do Pantanal Mato-Grossense**. Corumbá: EMBRAPA-CPAP, 1986. p.126-127. (EMBRAPA-CPAP. Documentos, 4).

CALHEIROS, D.F.; FERREIRA, C.J.A. **Alterações limnológicas no rio Paraguai (“dequada”) e o fenômeno de mortandade de peixes no Pantanal Mato-Grossense – MS**. Corumbá: EMBRAPA-CPAP, 1996. 48p. (EMBRAPA-CPAP, Boletim de Pesquisa, 7).

CAMPELO JÚNIOR, J.H.; SANDANIELO, A.; CANAPPELE, C.; PRIANTE FILHO, N.; MUSIS, C.R.; SORIANO, B.M.A. Climatologia. In: BRASIL.

Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal) - PCBAP. Diagnóstico dos meios físico e biótico: meio físico.** Brasília, 1997. v.2, t.1, p.295-334.

CORREIA, M.E.F. Fauna do solo, microrganismos e matéria orgânica como componentes da qualidade do solo em sistema de pastejo intensivo. In: PEIXOTO, A.M.; MORA, J.C.; FARIA, V.P. Fundamentos do pastejo rotacionado. SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 14., 1999, Piracicaba. **Anais...**Piracicaba: FEALQ, 1999. p.39-53.

D'ANDRÉA, A.F. **Atributos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo no sul de Goiás.** 2001. 106 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment.** Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.3-21. (SSSA Special Publication, 35).

DORAN, J.W.; SARRANTONIO, M.; JAURE, R. Strategies to promote soil quality and health. In: PANKHURST, C.E.; DOUBE, B.M.; GUPTA, V.V.S.R.; GRACE, P.R. (Ed.). **Soil biota: management in sustainable farming systems.** CSIRO, Melbourne, 1994. p 230–237.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Quantitative indications of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality.** Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.25-37. (SSSA Special Publication, 49).

HAMILTON, S.K.; SIPPEL, S.J., MELACK, J.M. Inundation patterns in the Pantanal wetland of South America determined from passive microwave remote sensing. **Archiv fur Hydrobiologie**, Helgoland, v.137, n.1, p.1-23, July. 1996.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, Iowa, v.55, n.1, p. 69-79, Jan./Mar. 2000.

JUNK, W.J.; SILVA, C.J. O conceito do pulso de inundação e suas implicações para o Pantanal de Mato Grosso. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS, 2., 1996, Corumbá. **Anais...** Corumbá: Embrapa Pantanal, 1999. p.17-28.

KARLEN, D.L. ; STOTT, D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Ed.). **Defining Soil Quality for a**

Sustainable Environment. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.53-72. (SSSA Special Publication, 35).

LAL, R.; MILLER, F.P. Soil quality and its management in humid subtropical and tropical environments. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 17., 1993, Palmerston North. **Proceedings..** Palmerston North: New Zealand Grassland Association, 1993. p.1541-1555.

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Ed.). **Defining Soil Quality for a Sustainable Environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 37-52. (SSSA Special Publication, 35).

LEIRÓS, M.C.; TRASAR-CEPEDA, C.; SEOANE, S.; GIL-SOTRES, F. Biochemical properties of acid soils under climax vegetation (Atlantic oakwood) in an area of the European temperate-humid zone (Galicia, NW Spain): general parameters. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 32, p.733-745, June 2000.

POTT, A. **Pastagens no Pantanal**. Corumbá: EMBRAPA-CPAP, 1988. 58 p. (EMBRAPA-CPAP. Documentos, 7).

SANTOS, R.D.; CARVALHO FILHO, A.; NAIME, U.J.; OLIVEIRA, H. et al. Pedologia. In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal) – PCBAP Diagnóstico dos meios físicos e bióticos: meio físico**. Brasília, 1997, v.2, t.1, p.121-293.

SILVA, J. dos S.V.; ABDON, M. dos M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n. 10, p.1703-1711, out. 1998. Especial.

SILVA, T.C. da. Contribuição da geomorfologia para o conhecimento e valorização do Pantanal. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 1., 1984, Corumbá. **Anais...** Brasília: EMBRAPA-DDT, 1986. p.77-90. (EMBRAPA-CPAP. Documentos, 5).

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. In: ALVAREZ VENEGAS, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F. de; MELLO, J.W.V. de; COSTA, L.M. da. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p.195-276.

TRASAR-CEPEDA, C.; LEIRÓS, C.; GIL-SOTRES, F.; SEOANE, S. Towards a biochemical quality index for soils: An expression relating several biological

and biochemical properties. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 26, p.100-106, Dec. 1998.

CAPÍTULO 2

Inter-relações solo, regime de inundação e unidades de paisagem na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense

1 Resumo

CARDOSO, Evaldo Luis. Inter-relações solo, regime de inundação e unidades de paisagem na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense. In: _____ **Qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense**. 2008. Cap. 2, p. 19-46. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.¹

O Pantanal possui unidades de paisagem compostas por formações vegetais de aspectos diversos que compreendem campos inundáveis, cerrados, cerradões e florestas, as quais são fortemente influenciadas pela topografia local e pelos diferentes níveis de inundação. Objetivou-se, neste estudo, avaliar os atributos físicos e químicos do solo de diferentes unidades de paisagem da sub-região da Nhecolândia, para melhor entender as inter-relações solo, regime de inundação e unidades de paisagem, visando subsidiar o manejo sustentável das pastagens nativas do Pantanal. Foram avaliadas unidades de paisagem sujeitas a diferentes regimes de inundação: livres de inundações (LI) - floresta semidecídua e cerradão; sujeitas à inundações ocasionais (IO) - campo cerrado e campo limpo com predominância de *Elyonurus muticus*; sujeitas à inundações periódicas (IP) - campo limpo com predominância de *Axonopus purpusii* e *Andropogon* spp, bordas de baías e vazantes e baixadas. À exceção da floresta semidecídua, as demais unidades de paisagem apresentaram fertilidade natural do solo muito baixa e a análise dos atributos químicos do solo refletiu a textura arenosa, o baixo teor de matéria orgânica e a baixa capacidade de reter cátions dos solos. As unidades sujeitas à IO e IP foram mais suscetíveis à degradação dos atributos físicos, possivelmente decorrente do maior pisoteio dos animais. As inter-relações solo, regime de inundação e unidades de paisagem sugerem que a ocorrência e extensão dessas unidades de paisagem devam ser consideradas no estabelecimento das estratégias de manejo sustentável das pastagens nativas.

Termos para indexação: Qualidade do solo, carbono orgânico, fertilidade do solo, conservação ambiental, densidade do solo.

¹ Orientador: Prof. Marx Leandro Naves Silva (UFLA/DCS)

2 Abstract

CARDOSO, Evaldo Luis. Interrelationships soil, flooding regime and landscape units in the Nhecolândia sub-region, South Pantanal Wetland. In: _____. **Soil quality of cultivated and native pastures systems in the Nhecolândia sub-region, South Pantanal Wetlands**. 2008. Chap. 2, p. 19-46. Thesis (Doctorate in Soil Science) – Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil.¹

The Pantanal Wetlands possesses landscape units which includes flooded fields, arboreal savannah, forested savannah and forests, which are strongly influenced by the local topography and the different flooding levels. The objective of this work was to evaluate the physical, chemical and biological soil attributes of the different landscape units of the Nhecolândia sub-region, to better understand the interrelationships among soil, flooding regime and landscape units, aiming to assist in the sustainable management of the native Pantanal grasslands. Landscape units subject to different flooding regimes were evaluated: flood free (FF) – semideciduous forest and forested savannah; subject to occasional floodings (OF) – arboreal savannah and open grasslands with predominance of *Elyonurus muticus*; subject to periodic floodings (PF) - open grasslands with predominance of *Axonopus purpusii* and *Andropogon* spp, edge of ponds and temporary channels and lowlands. With the exception of the semideciduous forest, the other landscape units presented very poor natural soil fertility and the analysis of the chemical attributes of soil reflected the sandy texture, low organic matter content and the low cation-holding capacity of soils. The units subject to OF and PF were more susceptible to the physical attributes degradation, possibly due to the more intense animal traffic. The interrelationships among soil, flooding regime and landscape units suggest that the occurrence and extent of those landscape units should be considered in the establishment of native grassland sustainable management strategies.

Index terms: Soil quality, organic carbon, soil fertility, environmental conservation, bulk density.

¹ Adviser: Prof. Marx Leandro Naves Silva (UFLA/DCS)

3 Introdução

O Pantanal Mato-Grossense, localizado na região Centro-Oeste do Brasil, caracteriza-se como uma imensa planície sedimentar com aproximadamente 140.000 km², formada a partir da deposição de sedimentos referentes ao período Quaternário (Silva, 1986). Por sua posição central em relação à América do Sul, recebe influência dos elementos da Floresta Amazônica, Chaco, Mata Atlântica e Cerrado (Adámoli, 1995), tornando marcante a diversidade de unidades de paisagem que ocorrem nessa planície. Tal heterogeneidade ambiental, principalmente quanto ao regime de cheias, tipo de solo e composição da vegetação, levou a própria população local a reconhecer a existência de diversos pantanais, atualmente definidos como onze sub-regiões (Silva & Abdon, 1998).

A sub-região da Nhecolândia, localizada na porção centro-meridional do Pantanal, com aproximadamente 26.000 km², destaca-se das demais por sua paisagem composta por formações vegetais de aspectos diversos, que compreendem campos inundáveis, cerrados, cerradões e florestas, entremeadas a um complexo sistema de lagoas permanentes ou semipermanentes, localmente denominadas “baías” (água doce) e “salinas” (água salobra). No aspecto do meso-relevo apresenta pequenos desníveis que, em interação com a distribuição da vegetação, resultam em três unidades fitogeomorfológicas principais: “cordilheira”, campo ou “largo” e a forma deprimida de terreno (Pott, 1988).

As cordilheiras são cordões arenosos com cota de, aproximadamente, um a quatro metros superiores às depressões, geralmente livres de inundação e caracterizam-se pela predominância de vegetação arbórea (Comastri Filho, 1984; Pott, 1988). O campo ou “largo” é a zona transicional entre o cerrado e o campo limpo, está sujeito à inundação periódica, sendo dominado por árvores menores e mais esparsas, associadas à estrato herbáceo (Comastri Filho, 1984).

A forma deprimida de terreno apresenta-se com três subtipos: lagoa (ou “baía”, permanente ou temporária), “vazante” (quando a via de drenagem não é seccionada formando lagoas), a “salina” que é de água salobra, sem ligação com outras águas (Pott, 1988).

Com exceção das cordilheiras, cujos solos somente estão saturados por água em profundidade, as demais unidades geomórficas estão sujeitas a alagamentos temporários. Entretanto, em algumas áreas, como o campo de caronal e campo cerrado, a inundação é somente ocasional e de curta duração. Acompanhando a suave ascensão das cotas desde as áreas submersas das baías ao topo das cordilheiras, nota-se um adensamento e crescimento do porte da vegetação, que da fisionomia de campo limpo grada para campo sujo, campo cerrado, cerrado, cerradão, até a floresta e, nesse sentido, tende a aumentar o teor de nutrientes no solo (Carvalho Filho et al., 2000).

Apesar do notável nivelamento e da ausência de desníveis topográficos consideráveis, a sub-região da Nhecolândia apresenta certa heterogeneidade geomórfica interna (Silva, 1986), que é responsável pelas variações na cobertura vegetal e nos solos. A dinâmica da água nos solos está intimamente relacionada com as diferenças topográficas, que condicionam a duração do alagamento e os níveis específicos do lençol freático em cada unidade de paisagem, com influência marcante no aspecto da vegetação. Os limites máximos desse contraste estão definidos por planícies de inundação com fisionomia de campo limpo e cordilheiras sob floresta.

Nesse ambiente, marcado por grande diversidade ambiental e tendo as pastagens nativas como a base da alimentação dos herbívoros, a pecuária de corte, conduzida em sistemas extensivos de criação e com baixos índices zootécnicos, tem sido a principal atividade econômica. Contudo, a sustentabilidade desse modelo de exploração, tem sido comprometida pela crescente necessidade de aumentar os índices de produtividade. Para atenuar a

estacionalidade das pastagens nativas, alguns pecuaristas têm implantado pastagens cultivadas nas partes mais altas do meso-relevo e, mais recentemente nas áreas de caronal, campo cerrado, entre outras, porém são ainda incipientes as informações sobre o impacto dessas ações sobre o ecossistema. O manejo sustentável de sistemas complexos como o Pantanal, é extremamente difícil e constitui o principal desafio para cientistas, técnicos e proprietários rurais. As estratégias de manejo não devem ser estabelecidas de forma unilateral, é necessário entender-se todo o processo, como as interações entre componentes bióticos e abióticos, e o papel de cada um no ecossistema como um todo (Santos, 2001).

Neste contexto, objetivou-se, no presente estudo, avaliar os atributos químicos e físicos do solo de diferentes unidades de paisagem na sub-região da Nhecolândia, visando o melhor entendimento das inter-relações solo, regime de inundação e unidades de paisagem e, assim subsidiar o manejo sustentável das pastagens nativas do Pantanal.

4 Material e Métodos

O trabalho foi conduzido na fazenda Nhumirim, área experimental da Embrapa Pantanal, cuja ocorrência de unidades de paisagem é bastante representativa da parte mais alta da sub-região da Nhecolândia. As unidades de paisagem foram caracterizadas por Santos et al. (2002), conforme descrição na Tabela 1, e delimitadas em uma invernada de 151 ha, situada entre 18°59'06'' e 19°00'06'' de latitude Sul e 56°39'40'' e 56°40'40'' de longitude Oeste (Figura 1), por meio de levantamento planialtimétrico. A área de estudo está sujeita à inundações de menores intensidades que outras áreas da Nhecolândia, sendo que quando ocorrem são geralmente de origem pluvial e com pequena influência de inundação fluvial, apenas na sua parte norte (Santos, 2001).

TABELA 1. Descrição e caracterização das unidades de paisagem ocorrentes na área de estudo, sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense.

Unidade de paisagem	Caracterização
FS – floresta semidecídua (“mata”)	Área não inundável – com poucas espécies forrageiras no seu interior, com predominância da palmeira acuri (<i>Scheelea phalerata</i>). Nas bordas, ocorre uma diversidade de espécies como <i>Arrabidaea</i> sp, <i>Cercropia pachystachya</i> e <i>Smilax fluminensis</i> .
CE – savana florestada (“cerradão”)	Área não inundável – vegetação xeromorfa sobre cordões arenosos (antigos diques fluviais), cuja composição florística é bastante heterogênea, destacando-se as espécies <i>Scheelea phalerata</i> , <i>Diospyros hispida</i> , <i>Annona dióica</i> .
CC – savana arboreal (“campo-cerrado”)	Área sujeita à inundação ocasional (somente em grandes cheias) – zona transicional entre cerrado e campo limpo, de formação natural ou antropizada. As espécies são esparsamente distribuídas sobre um estrato herbáceo (<i>Mesosetum chaseae</i> e <i>Axonopus purpusii</i> , etc.), entremeado de plantas lenhosas (<i>Byrsonima orbyghiana</i> , <i>Curatella americana</i> e <i>Annona dióica</i> , etc.)
CLE – savana gramíneo-lenhosa (“caronal”)	Área sujeita à inundação ocasional – área de campo com predominância de capim carona (<i>Elyonurus muticus</i>).
CLA – savana gramíneo-lenhosa (“campo limpo”)	Área sujeita à inundação periódica – situada em mesorelevo um pouco mais baixo que o anterior, com predominância de <i>Axonopus purpusii</i> e <i>Andropogon</i> spp.
BB – borda de lagoas permanentes	Área sujeita à inundação periódica – varia de acordo com a precipitação e o nível da inundação. Predominam espécies como <i>Hymenachne amplexicaulis</i> , <i>Leersia hexandra</i> , <i>Panicum laxum</i> e várias ciperáceas como <i>Eleocharis mínima</i> .
VB – “vazantes” e “baixadas”	Área sujeita à inundação periódica – “vazantes” são vias de drenagem não seccionadas, formando extensas áreas periodicamente inundadas, enquanto “baixadas” referem-se aos pequenos desníveis do mesorelevo. Nestas áreas, ocorrem gramíneas hidrófilas como <i>Panicum laxum</i> , <i>Setaria geniculata</i> e várias ciperáceas como <i>Rhynchospora trispicata</i> .

Fonte: Santos (2001).

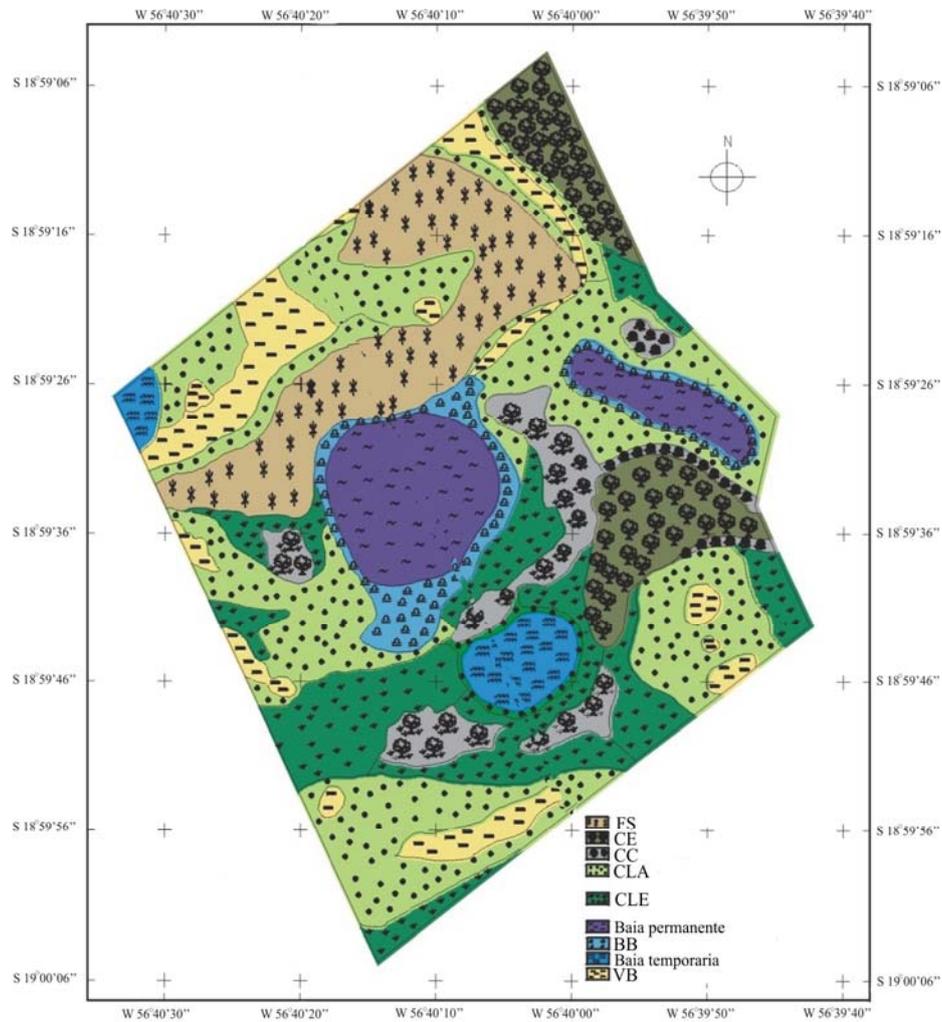


FIGURA 1. Delimitação das unidades de paisagem na área de estudo, sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense. FS: floresta semidecídua; CE: cerradão; CC: campo cerrado; CLE: campo limpo com predominância de *E. muticus*; CLA: campo limpo com predominância de *A. purpusii* e *Andropogon spp*; BB: bordas de baias; VB: vazantes e baixadas.
Fonte: Santos (2001).

A amostragem do solo, realizada em agosto de 2007, consistiu de coletas de amostras deformadas e indeformadas, realizadas no centro de cada unidade de paisagem, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm, para avaliação dos atributos físicos, e nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm, para avaliação dos atributos químicos, sendo todas as amostras coletadas com três repetições. As amostras deformadas, coletadas em minitrincheiras, foram secas ao ar e passadas em peneiras de 2 mm de diâmetro e posteriormente encaminhadas ao laboratório; as amostras com estrutura indeformada foram coletadas com o uso do amostrador de Uhland, sendo os cilindros de alumínio de dimensões médias de 8,25 cm de altura e 6,96 cm de diâmetro interno.

Dentre os atributos físicos analisados, a densidade do solo foi determinada conforme Blake & Hartge (1986a) e a densidade de partículas, pelo método do balão volumétrico, segundo Blake & Hartge (1986b). O volume total de poros foi determinado segundo expressão preconizada por Danielson & Sutherland (1986) e a distribuição de poros por tamanho, foi determinada utilizando-se unidade de sucção, com 60 cm de altura de coluna de água, para separação de macro e microporos. O volume de água retido nas amostras após o equilíbrio foi relacionado à microporosidade, sendo a macroporosidade obtida por diferença (Grohmann, 1960; Oliveira, 1968).

A condutividade hidráulica do solo saturado (K_s) foi determinada por meio de permeâmetro de carga constante, seguindo metodologia descrita por Lima et al. (1990), com o uso de amostras indeformadas saturadas previamente por capilaridade. Considerou-se, para efeito de cálculo, o valor estabilizado após cinco leituras iguais. A resistência do solo à penetração foi avaliada utilizando-se o penetrômetro de impacto (mod. IAA/PLANALSUCAR – STOFF), segundo metodologia preconizada por Stolf et al. (1983) e Stolf (1991). Os valores obtidos em kgf cm^2 foram multiplicados pelo fator 0,098 para expressar os

resultados em MPa. A umidade do solo no momento do teste de resistência à penetração foi determinada pelo método gravimétrico.

Dentre os atributos químicos analisados, os componentes do complexo sortivo, pH em água e fósforo disponível, foram determinados segundo Embrapa (1997). O carbono orgânico total (CO) foi determinado pelo método descrito por Yeomans & Bremner (1988), consistindo da digestão de 0,3 g de solo com 5 ml de $K_2Cr_2O_7$ 0,167 MOL L^{-1} e 10 ml de H_2SO_4 P.A., por 30 minutos, em bloco digestor de 40 provas. Após o resfriamento em temperatura ambiente, os extratos foram transferidos para frascos erlenmeyer de 250 ml, adicionados 5 ml de H_3PO_4 P.A. e água destilada para elevar o volume para 50 ml, com posterior titulação com $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0,4 mol L^{-1} , utilizando-se como indicador a solução ácida de difenilamina 1%.

Para avaliar a qualidade da matéria orgânica, utilizou-se o método de extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas, descrito por Benites et al. (2003), e com base na solubilidade diferenciada das substâncias húmicas em meios alcalino e ácido foram determinados os teores de C associados à fração ácidos húmicos (C-FAH), à fração ácidos fúlvicos (C-FAF) e à humina (C-HU).

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com estrutura em faixas devido às profundidades de amostragem. Os resultados dos atributos do solo foram submetidos à análise de variância para se verificar diferenças entre as unidades de paisagem, profundidades amostradas e interação entre unidades de paisagem e profundidade, utilizando-se os procedimentos do programa SISVAR (Ferreira, 2000). As comparações múltiplas de médias foram realizadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

5 Resultados e Discussão

A ocorrência das unidades de paisagens na área estudada, conforme o tipo de solo, regime de inundação e cotas médias, é representado esquematicamente na Figura 2. Em geral, os solos são de composição granulométrica enquadrados na classe textural areia e com seqüência de horizontes A - C. As áreas mais elevadas, livres de inundações, representadas pelas unidades FS e CE, apresentaram cota média de 2,53 m e 2,30 m, respectivamente, e NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, com horizonte A relativamente desenvolvido, em geral com mais de 50 cm de espessura e, embora com baixo teor de matéria orgânica, de cor escura, caracterizando horizonte A moderado. Segundo Cunha (1980), o crescimento, a composição e a densidade da vegetação nessa unidade de paisagem variam em função do regime hídrico do solo.

As áreas sujeitas à inundação ocasional, representadas pelas unidades CLE e CC, apresentaram cota média de 2,06 m e 2,23 m, respectivamente, e NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, com pouca diferenciação de horizontes e predomínio de cores claras em toda a extensão do perfil, caracterizando o horizonte A fraco. Nessa unidade de paisagem é marcante o processo de lixiviação do perfil do solo, determinado principalmente pelas freqüentes oscilações do lençol freático, ocorridas durante quase seis meses por ano.

As áreas mais baixas e sujeitas às inundações periódicas, representadas pelas unidades VB, BB e CLA, apresentaram cota média de 0,42 m, 1,52 m e 1,84 m, respectivamente, e NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico típico, marcado pela presença do lençol freático a menos de 1,5 m da superfície durante a época seca, ou pela ocorrência de horizonte glei até essa profundidade.

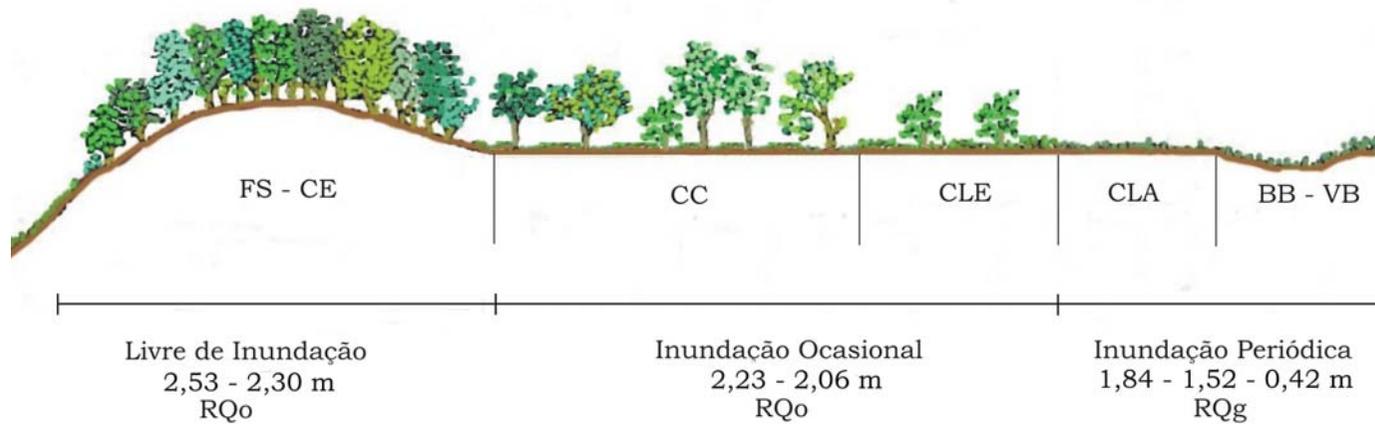


FIGURA 2. Unidades de paisagem e seqüência altimétrica de ocorrência na área de estudo, sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense. FS: floresta semidecídua; CE: cerradão; CC: campo cerrado; CLE: campo limpo com predominância de *E. muticus*; CLA: campo limpo com predominância de *A. purpusii* e *Andropogon spp*; BB: bordas de baias; VB: vazantes e baixadas.
Fonte: Adaptado de Cunha (1980).

Nota-se ainda, que as cotas altimétricas das diferentes unidades de paisagem variaram significativamente e foram relativamente mais baixas que outras mencionadas na literatura, que evidenciam contrastes altimétricos de 2 a 5 m entre o topo das partes altas e as áreas mais baixas (Cunha, 1980; Comastri Filho, 1984). Denotando que tal fator pode variar expressivamente na região e condicionar diferentes níveis e duração de inundações. Segundo Amaral Filho (1986), com o represamento das águas pelo rio Paraguai, há inundação generalizada, de duração variável em função da cota local do terreno e também da posição em relação ao rio Paraguai, pois há um desnível de norte para sul e um estrangulamento ou diminuição no sistema de drenagem. Assim, a área situada ao norte tem um período de inundação menor que outra situada ao sul.

Portanto, como as pastagens nativas estão sujeitas à flutuação quantitativa e qualitativa em função das características ecológicas da região, onde o grau de inundação desempenha papel fundamental na maior ou menor disponibilidade de pasto (Pott et al., 1989). As inter-relações solo, regime de inundação e unidades de paisagem sugerem que a ocorrência e a extensão das mesmas devem, fundamentalmente, serem consideradas no estabelecimento das estratégias de manejo das pastagens nativas, haja vista que as cotas altimétricas dessas unidades de paisagem podem variar de fazenda para fazenda, ou até mesmo dentro da mesma fazenda, conforme já ressaltado por Santos (2001).

Em relação aos atributos químicos do solo foram constatadas interações significativas entre as unidades de paisagens e as profundidades amostradas, conforme apresentados na Tabela 2. Na camada mais superficial, notadamente nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm, em geral as unidades de paisagem apresentaram acidez ativa do solo considerada como média a elevada e soma de bases muito baixa, com valores inferiores a $0,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, exceção à FS, cuja acidez foi fraca e soma de bases considerada como boa, conforme Alvarez V. et al. (1999).

TABELA 2. Atributos químicos do solo de unidades de paisagem na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Matogrossense.

Unidade de paisagem	pH H ₂ O	SB.....cmol _c dm ⁻³	t%	V	m	P mg dm ⁻³
Profundidade de 0-5 cm						
FS	6,6 a	4,3 a	4,3 a	79 a	-	19,5 a
CE	5,2 b	0,7 b	1,1 b	28 b	34 a	11,2 b
CC	5,1 b	0,6 b	0,9 b	29 b	36 a	5,2 bc
CLE	5,6 b	0,6 b	0,9 b	26 b	34 a	5,4 bc
CLA	5,4 b	0,6 b	0,9 b	27 b	28 a	4,2 c
BB	5,0 b	0,8 b	1,1 b	27 b	23 ab	3,3 c
VB	5,3 b	0,6 b	0,9 b	24 b	32 a	2,3 c
Profundidade de 5-10 cm						
FS	6,5 a	3,1 a	3,1 a	72 a	-	11,3 a
CE	4,9 cd	0,3 b	0,8 b	16 b	57 a	14,4 a
CC	5,0 cd	0,2 b	0,6 b	16 b	61 a	2,6 b
CLE	5,7 b	0,3 b	0,6 b	20 b	43 a	3,0 b
CLA	5,3 bcd	0,3 b	0,6 b	19 b	45 a	2,6 b
BB	4,8 d	0,4 b	0,7 b	16 b	49 a	2,7 b
VB	5,5 bc	0,4 b	0,7 b	20 b	40 a	2,2 b
Profundidade de 10-15 cm						
FS	6,4 a	2,5 a	2,5 a	68 a	-	8,4 b
CE	4,8 c	0,3 b	0,8 b	14 b	62 a	20,1 a
CC	5,0 bc	0,2 b	0,6 b	14 b	65 a	1,9 c
CLE	5,7 b	0,2 b	0,5 b	15 b	57 a	2,3 c
CLA	5,3 bc	0,3 b	0,6 b	18 b	51 a	2,8 bc
BB	4,7 c	0,3 b	0,8 b	13 b	59 a	3,6 bc
VB	5,6 b	0,3 b	0,6 b	19 b	45 a	1,8 c
Profundidade de 15-20 cm						
FS	6,2 a	2,1 a	2,1 a	65 a	-	8,0 b
CE	4,9 c	0,3 b	0,8 b	14 b	66 a	19,0 a
CC	5,0 bc	0,2 b	0,6 b	14 b	67 a	1,8 c
CLE	5,3 bc	0,2 b	0,5 b	15 b	57 a	2,2 bc
CLA	5,2 bc	0,2 b	0,5 b	17 b	51 ab	2,7 bc
BB	4,8 c	0,3 b	0,8 b	14 b	58 a	3,8 bc
VB	5,6 b	0,3 b	0,5 b	23 b	31 b	1,5 c

FS: floresta semidecídua; CE: cerradão; CC: campo cerrado; CLE: campo limpo com predominância de *E. muticus*; CLA: campo limpo com predominância de *A. purpusii* e *Andropogon spp*; BB: bordas de baias; VB: vazantes e baixadas.

V: saturação por bases; SB: soma de bases trocáveis; t: CTC efetiva; m: saturação por Al³⁺; P: fósforo.

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna e mesma profundidade, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Com relação à CTC efetiva (t), os valores mais elevados também foram observados na FS (Tabela 2), podendo ser considerados como médio, enquanto as demais unidades apresentaram valores inferiores a $1 \text{ cmol}_e \text{ dm}^{-3}$, considerados como baixos a muito baixos (Alvarez V. et al., 1999). Provavelmente, os valores superiores constatados na FS são decorrentes do maior aporte de material orgânico na superfície do solo, provenientes da mata semidecídua, vegetação característica dessa unidade de paisagem. A contribuição da matéria orgânica para a CTC dos solos é importante e foi estimada entre 56 e 82% da CTC de solos sob condições tropicais (Raj, 1981), o que favorece a retenção de cátions e diminui as perdas por lixiviação (Canellas et al., 2003).

Portanto, sob condições naturais ácidas, os resultados dos atributos químicos do solo refletem a textura arenosa, o baixo teor de matéria orgânica e a baixa capacidade de reter cátions dos solos dessas unidades de paisagem. Além da baixa CTC efetiva, acima de 30% dos pontos de troca são ocupados pelo alumínio. Áreas de cerradão de dossel mais aberto, com poucas árvores de grande porte e muitas de menor porte, têm sido atribuídas à menor fertilidade do solo e elevada saturação por alumínio (Salis et al., 2006; Eiten, 1990).

Para os teores de fósforo também foi constatada interação significativa entre as unidades de paisagem e profundidades amostradas, sendo os maiores teores, independentes da profundidade, constatados na FS e CE (Tabela 2). Tais resultados indicam, provavelmente, que os teores de P, assim como de alguns cátions trocáveis, podem influenciar a composição florística e, em especial, a dinâmica de ocupação e colonização de espécies vegetais nessas unidades de paisagem. Um exemplo é a espécie *Scheelea phalerata*, ocorrente somente nas áreas florestadas, denotando, provavelmente, uma melhor condição química do solo, representada, talvez, por maiores valores de soma de bases e ou teores de P. Segundo Salis et al. (2006), a ocorrência de muitos indivíduos de *Qualea grandiflora* presentes em dois cerradões da Nhecolândia, foi associada à maior

disponibilidade de P. Carvalho Filho et al. (2000), a partir de estudo realizado na fazenda Nhumirim, observaram que nos ambientes mais fechados e próximos das salinas é comum a presença do assa-peixe (*Vernonia* sp), espécie associada a maiores teores de nutrientes e praticamente ausente nas demais unidades, e de aglomerados de carandá (*Copernicia alba*), palmeira relacionada a teores elevados de sódio. Os autores ressaltam ainda, uma estreita relação entre as fitofisionomias locais, tanto herbáceas como arbóreas, e as características dos solos, notadamente quanto à fertilidade, com influência direta sobre a composição florística. Portanto, a investigação e identificação de determinadas espécies vegetais nessas unidades de paisagem, pode, possivelmente, ser indicadora da condição química do solo.

Os teores de carbono total (CO) e associados às frações húmicas, das diferentes unidades de paisagem, são apresentados na Tabela 3. Nota-se que os maiores teores CO foram observados na camada mais superficial e nas unidades de paisagem representadas pela FS e BB. A quantidade de matéria orgânica presente no solo depende do balanço das taxas de adição e de perdas do CO, por erosão, lixiviação e, sobretudo, mineralização (Bayer & Mielniczuk, 1999). Como as unidades de paisagem caracterizam-se por sistemas naturais, sem nenhum tipo de manejo aplicado ao solo, tais resultados podem ser atribuídos, no caso da FS, ao maior aporte de resíduos orgânicos na serapilheira, proveniente da vegetação de mata semidecídua, enquanto que na BB, provavelmente são decorrentes da deposição de material orgânico proporcionado pelo ciclo anual de cheia. Ainda segundo Roscoe & Machado (2002), em sistemas dominados pela deposição superficial de liteira, como florestas e savanas densas, o acúmulo de matéria orgânica é mais acentuado que em sistemas onde predomina a deposição de liteira subterrânea, como pastagens nativas e cultivadas.

TABELA 3. Teores de carbono orgânico total (CO) e sua distribuição nas frações ácidos fúlvicos (C-FAF), ácidos húmicos (C-FAH) e humina (C-HU) em solo de unidades de paisagem na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Matogrossense.

Unidade de paisagem	CO	Distribuição das frações		
		C-FAF	C-FAH	C-HU
g kg ⁻¹				
Profundidade de 0-5 cm				
FS	11,4 a	2,4 a	2,7 a	5,5 a
CE	6,3 c	1,2 b	2,2 b	2,5 c
CC	4,3 d	1,0 bc	1,5 c	1,2 d
CLE	5,7 c	0,7 d	1,0 d	3,6 b
CLA	6,4 c	0,8 cd	1,1 d	4,1 b
BB	9,0 b	0,8 cd	1,5 c	6,3 a
VB	5,9 c	0,6 d	1,2 d	3,6 b
Profundidade de 5-10 cm				
FS	7,8 a	1,4 a	2,5 a	3,3 b
CE	4,7 b	0,5 b	1,2 b	2,3 c
CC	2,9 c	0,6 b	0,8 cd	0,8 d
CLE	5,6 b	0,4 b	0,6 d	3,1 bc
CLA	4,5 b	0,5 b	0,6 d	2,8 bc
BB	6,8 a	0,4 b	0,9 bcd	4,9 a
VB	4,8 b	0,4 b	1,1 cd	2,5 bc
Profundidade de 10 -15 cm				
FS	5,9 a	1,1 a	2,3 a	1,9 b
CE	3,3 bc	0,5 b	1,6 b	0,8 cd
CC	2,2 c	0,4 b	0,7 c	0,5 d
CLE	3,1 bc	0,2 b	0,8 c	1,7 bc
CLA	3,1 bc	0,2 b	0,3 d	1,9 b
BB	5,3 a	0,3 b	0,7 c	3,7 a
VB	3,9 b	0,4 b	0,7 c	2,1 b
Profundidade de 15-20 cm				
FS	4,7 a	0,4 a	1,9 a	1,9 b
CE	2,7 b	0,2 ab	1,3 b	0,7 de
CC	1,9 b	0,1 b	0,7 c	0,4 e
CLE	3,0 b	0,2 ab	0,6 c	1,5 bcd
CLA	2,4 b	-	0,3 d	1,6 bc
BB	4,8 a	0,1 b	0,7 c	3,5 a
VB	2,4 b	0,3 a	0,5 cd	0,9 cde

FS: floresta semidecídua; CE: cerradão; CC: campo cerrado; CLE: campo limpo com predominância de *E. muticus*; CLA: campo limpo com predominância de *A. purpusii* e *Andropogon spp*; BB: bordas de baías; VB: vazantes e baixadas.

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna e mesma profundidade, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os teores de carbono associados às frações húmicas também variaram entre as unidades de paisagem e profundidades amostradas (Tabela 3). A maior parte do carbono presente no solo foi composta pela fração humina (C-HU), com participação variando de, aproximadamente, 30 a 80% do carbono total. Essa fração, apesar de apresentar baixa reatividade, tem como principal função atuar sobre as condições físicas e químicas do solo, podendo representar até cerca de 2/3 do carbono orgânico do solo e tem maior permanência no solo (Andriulo et al., 1990). Em todas as unidades de paisagem, a fração ácido húmico (C-FAH) representou maior parte do carbono total que a fração ácido fúlvico (C-FAF). Segundo Pizauro Jr. & Melo (1995), a predominância de uma ou outra fração indica o estágio de mineralização da matéria orgânica e a incorporação de nitrogênio à estrutura húmica. O aumento no conteúdo de C-FAH pode ser um indicador da melhoria da qualidade do húmus do solo ou do incremento da atividade biológica que promove a síntese de substâncias húmicas mais condensadas (Orlov, 1998).

As unidades de paisagem sujeitas à inundação periódica, representadas pelo CLA, BB e VB, apresentaram, em média, os maiores teores de C-HU. Provavelmente, a elevada altura do lençol freático nessas unidades, determinando condições anaeróbicas, durante longo período do ano, tenha comprometido a mineralização primária da matéria orgânica e a liberação de compostos fenólicos solúveis, com conseqüente acúmulo de material lignificado pouco transformado, constituído essencialmente de humina residual (Conceição et al., 1999). Destaca-se ainda, que os processos de movimentação no perfil das frações C-FAH e C-FAF, por apresentarem menor estabilidade, podem ser intensificados pelo ciclo anual de cheia a que essas áreas estão sujeitas.

Em relação aos atributos físicos, para a densidade do solo, volume total de poros, microporosidade, macroporosidade e condutividade hidráulica do solo

saturado foram constatadas diferenças significativas apenas entre as unidades de paisagem, não havendo diferença em relação à profundidade do solo (Tabela 4).

TABELA 4. Valores médios de densidade do solo (Ds), volume total de poros (Pt), microporosidade (Mic), macroporosidade (Mac) e condutividade hidráulica do solo saturado (Ks) em unidades de paisagem na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Matogrossense.

Unidade de paisagem	Ds	Pt	Mic	Mac	Ks
	kg dm ⁻³	m ³ m ⁻³			mm h ⁻¹
FS	1,53 b	0,42 a	0,26 a	0,19 a	151 a
CE	1,54b	0,40 a	0,20 a	0,18 a	197 a
CC	1,60 a	0,34 b	0,21 a	0,13 ab	105 ab
CLE	1,58 ab	0,38 ab	0,27 a	0,15 ab	110 ab
CLA	1,59 ab	0,38 ab	0,24 a	0,14 ab	101 ab
BB	1,58 ab	0,38 ab	0,29 a	0,15 ab	46 b
VB	1,59 ab	0,37 ab	0,22 a	0,15 ab	119 ab

FS: floresta semidecídua; CE: cerradão; CC: campo cerrado; CLE: campo limpo com predominância de *E. muticus*; CLA: campo limpo com predominância de *A. purpusii* e *Andropogon spp*; BB: bordas de baias; VB: vazantes e baixadas.

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os maiores valores de densidade do solo foram observados nas áreas sujeitas à inundação ocasional e periódica, representadas respectivamente pelas unidades CC e CLE e CLA, BB e VB, cujo maior valor (1,60 kg dm⁻³) ocorreu no CC; enquanto as unidades FS e CE apresentaram os menores valores. Esses resultados podem ser atribuídos à pressão mecânica sobre o solo, exercida pelo pisoteio dos animais, uma vez que as áreas sujeitas à inundação periódica caracterizam-se por possuírem as pastagens de melhor qualidade e, logo após a inundação, são preferidas pelos bovinos para o pastejo. Da mesma forma, as

unidades CC e CLE, por estarem sujeitas à inundação ocasional, são pastejadas o ano todo, além disso, foram as unidades de paisagem com os menores teores de matéria orgânica, expresso pelos menores teores de CO (Tabela 2). Por sua vez, as unidades de paisagem FS e CE, caracterizadas basicamente por vegetação arbórea, raramente são utilizadas para pastejo, constituindo-se, basicamente, em opções de refúgio para os animais durante o período de cheia. De acordo com Cavenage et al. (1999), para ambientes de floresta nativa, menores valores de densidade do solo refletem a condição estrutural original do solo e onde os resíduos vegetais se encontram em maior quantidade, aliados à diminuição do teor de matéria orgânica em profundidade.

A maior densidade do solo nas unidades de paisagem mais intensamente submetidas ao pastejo e sujeitas à inundação periódica (Tabela 4), notadamente na camada superficial, em comparação com a mata nativa, pode também estar associada à maior predisposição aos ciclos de umedecimento e secagem do solo (Oliveira et al., 1996), determinada, principalmente, pela menor cobertura vegetal e ciclos de cheia. Embora os valores de densidade do solo tenham sido relativamente altos, porém ainda dentro da faixa classificada por Reichardt (1985) para solos arenosos, os mesmos encontram-se abaixo do valor restritivo ao desenvolvimento do sistema radicular, o qual, segundo Arshad et al. (1996), o valor de $1,70-1,75 \text{ kg dm}^{-3}$ seria o mínimo acima do qual haveria restrição.

O volume total de poros variou de 0,34 a $0,42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, sendo observados os maiores valores nas unidades livres de inundações, representadas pela FS e CE (Tabela 3). Em relação à distribuição de poros por tamanho, para a microporosidade não foi constatada diferença significativa entre as unidades de paisagem, porém, para a macroporosidade, o comportamento foi semelhante ao de volume total de poros, ou seja, maiores valores nas unidades livres de inundações. Segundo Baver et al. (1972), o volume de macroporos é expressivamente diminuído quando aumenta o adensamento causado pela

pressão exercida sobre o solo, refletindo num aumento menos acentuado do volume de microporos e numa diminuição também pouco expressiva do volume total de poros. Assim, em termos de porosidade, os macroporos são os primeiros, e mais intensamente, afetados pela pressão mecânica exercida sobre o solo (Bertol et al., 1998).

A porosidade total e a macroporosidade correlacionaram significativamente, de forma inversa, com a densidade do solo (Figura 3), ou seja, quanto menor a densidade do solo, maiores os valores de porosidade total e macroporosidade. Segundo Kiehl (1979), a porosidade total de um solo ideal para o desenvolvimento das plantas deve ser de $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, sendo a distribuição de poros por tamanho representada por $1/3$ de macroporos e $2/3$ de microporos. Ainda conforme Taylor & Ashcroft (1972), valores de macroporos superiores a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ são necessários para permitir as trocas gasosas e o crescimento das raízes da maioria das culturas. Nota-se nos resultados, que o volume total de poros, em todas as unidades de paisagem, encontra-se abaixo do valor ideal, no entanto a macroporosidade apresenta valores superiores a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, sugerindo condições satisfatórias ao desenvolvimento das plantas.

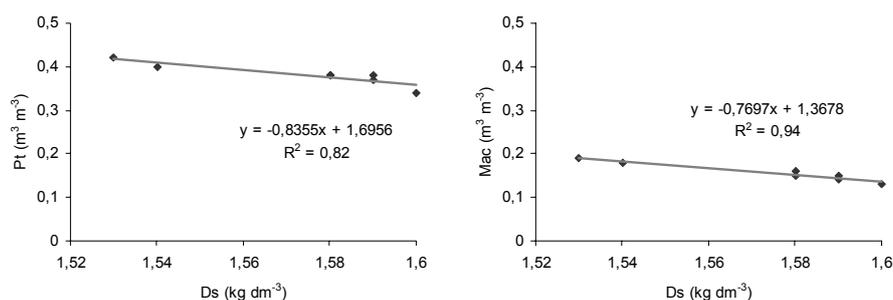


FIGURA 3. Porosidade total (Pt) e macroporosidade (Mac) em função da densidade do solo (Ds), em unidades de paisagem na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Matogrossense.

As unidades de paisagem livres de inundações (FS e CE), nas quais o solo apresentou melhor qualidade em relação à densidade, porosidade total e macroporosidade, também foram superiores em relação à condutividade hidráulica do solo saturado, denotando uma condição mais favorável à maior eficiência na redistribuição de água no perfil. A condutividade hidráulica do solo saturado é uma função do arranjo poroso que, por sua vez, está relacionado com a densidade do solo e varia diretamente com o conteúdo de macroporos (Ferreira & Dias Júnior, 2001). Contudo, não foi constada boa correlação entre a condutividade hidráulica com a densidade do solo e a macroporosidade (Figura 4), podendo ser atribuída à alta variabilidade inerente à mesma, aliada à variabilidade das profundidades do solo, visto que o ajuste foi em relação aos valores médios das profundidades amostradas.

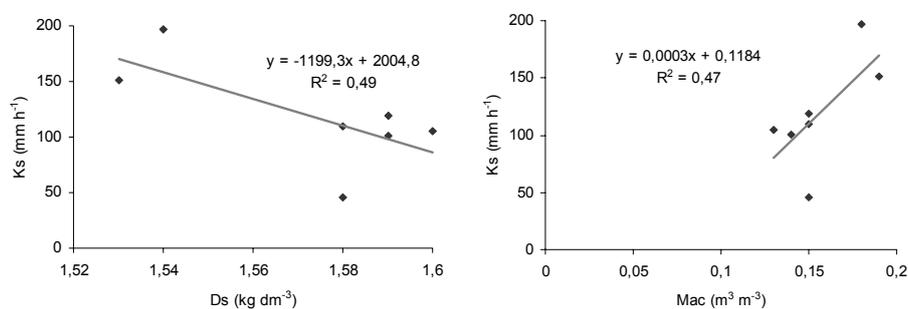


FIGURA 4. Condutividade hidráulica do solo saturado (Ks) em função da densidade do solo (Ds) e macroporosidade (Mac), em unidades de paisagem na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Matogrossense.

Ainda segundo Netto et al. (2000), os valores finais de condutividade hidráulica experimentais são afetados pelos erros inerentes à determinação das

densidades de fluxos e dos gradientes de potencial. Conforme o método empregado para a determinação da condutividade hidráulica, um erro de $\pm 50\%$ sobre o gradiente de potencial provoca um valor de condutividade hidráulica final multiplicado ou dividido por dois. Embora as unidades de paisagem tenham diferido quanto à condutividade hidráulica, todos os valores observados são classificados, segundo Soil Survey Staff (1993), como permeabilidade moderada.

A avaliação da resistência do solo à penetração também variou significativamente entre as unidades de paisagem e profundidades amostradas, sendo os maiores valores observados nas áreas sujeitas à inundações ocasionais e periódicas, notadamente abaixo de 25 cm de profundidade (Figura 5). Embora as unidades de paisagem sujeitas às inundações ocasionais e periódicas tenham apresentado valores significativamente superiores de resistência do solo à penetração, até a profundidade de aproximadamente 25 cm, a mesma pode ser classificada como moderada (Soil Survey Staff, 1993), em todas as unidades. A partir da profundidade de aproximadamente 35 e 50 cm, as unidades sujeitas à inundações periódicas e ocasionais apresentaram resistência à penetração classificada como alta (Soil Survey Staff, 1993).

Grant & Lanfond (1993) consideram que o crescimento radicular de culturas anuais sofre restrição em valores de resistência à penetração acima de 1,5 a 3,0 MPa; já para Arshad et al. (1996), acima de 2,0 MPa é que ocorrem restrições. Portanto, a resistência do solo à penetração das diferentes unidades de paisagem avaliadas encontra-se abaixo de valores considerados críticos.

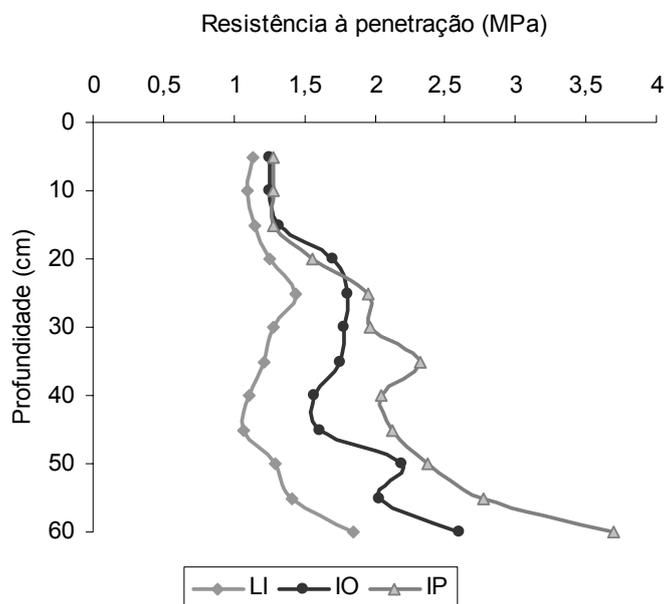


FIGURA 5. Resistência do solo à penetração em unidades de paisagem livres de inundações (LI) e sujeitas às inundações ocasionais (IO) e periódicas (IP) na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense.

6 Conclusões

O solo predominante nas unidades de paisagem é o NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, com caráter hidromórfico nas unidades sujeitas à inundações periódicas. A exceção da floresta semidecídua, as demais unidades de paisagem apresentaram fertilidade natural muito baixa; a análise dos atributos químicos do solo refletiu a textura arenosa, o baixo teor de matéria orgânica e a baixa capacidade de reter cátions dos solos. Contudo, aliado ao regime de inundação, as propriedades do solo, notadamente químicas, têm forte influência na diferenciação das unidades de paisagem.

As unidades de paisagem sujeitas à inundações ocasionais (CC e CLE) e

periódicas (CLA, BB, VB) foram mais susceptíveis à degradação dos atributos físicos, notadamente densidade do solo, macroporosidade, condutividade hidráulica do solo saturado e resistência à penetração do que as unidades florestadas (FS e CE).

As inter-relações solo, regime de inundação e unidades de paisagem sugerem que a ocorrência e extensão das unidades de paisagem devem ser consideradas no estabelecimento das estratégias de manejo sustentável das pastagens nativas.

7 Referências Bibliográficas

ADÂMOLI, J. **Diagnóstico do Pantanal**: características ecológicas e problemas ambientais. Brasília: Programa Nacional do Meio Ambiente, 1995. 50p.

ALVAREZ, V.V.H.; DIAS, L.E.; RIBEIRO, C.A.; SOUZA, R.B. de. Uso de gesso agrícola. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARAES, P.T.G.; ALVAREZ, V.V.H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5 aproximação. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 67-78.

AMARAL FILHO, Z.P. Solos do Pantanal Mato-grossense. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 1., 1984, Corumbá. **Anais...** Brasília: EMBRAPA-DDT, 1986. p. 91-103. (EMBRAPA-CPAP. Documentos, 5).

ANDRIULO, A.E.; GALANTINI, J.A.; PECORATI, C.; TORIONI, E. Materia organica del suelo en la región pampeana. I. Un método de fraccionamiento por tamizado. **Agrochimica**, Pisa, v.34, n.5-6, p.475-489, 1990.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.123-141. (SSSA Special Publication, 49).

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. Soil structure: evaluation and agricultural significance. In: BAVAR, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. **Soil physics**. 4. ed. New York: J. Wiley, 1972. p.178-223.

BENITES, V. M.; MÁDARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado e de baixo custo.** Rio de Janeiro: Embrapa, 2003. 7 p. (Comunicado Técnico, 16).

BERTOL, I.; GOMES, K.E.; DENARDIN, R.B.N.; MACHADO, L.A.Z.; MARASCHIN, G.E. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.5, p.779-786. maio 1998.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis.** 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986a. v.1, p.363-375.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis.** 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986b. v.1, p.377-382.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E. & SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.27, n.5, p. 935-944, set./out. 2003.

CARVALHO FILHO, A. de; CARDOSO, E.L.; NAIME, U.J.; MOTTA, P.E.F. da; OLIVEIRA, H. de; BRANCO, O.D.; SANTOS, R.D. dos. Solos como fator de diferenciação fitofisionômica na sub-região da Nhecolândia - Pantanal Mato-Grossense. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 3., 2000, Corumbá. **Anais...** Manejo e Conservação. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2000. p. 59-60.

CAVENAGE, A.; MORES, K.L.T.; ALVES, M.C.; CARVALHO, M.A.C.; FREITAS, M.L.M; BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distrófico típico sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.23, n.4, p.997-1003, 1999.

COMASTRI FILHO, J.A. **Pastagens nativas e cultivadas no Pantanal Mato-Grossense.** Corumbá: EMBRAPA-UEPAE de Corumbá, 1984. 48 p. (EMBRAPA-UEPAE de Corumbá. Circular Técnica, 13).

CONCEIÇÃO, M.; FREIXO, A.A.; ARAÚJO, W.S.A.; CUNHA, T.F.F.; MARTIN NETO, L.; SAAB, S.C. **Caracterização das substâncias húmicas em solos orgânicos do estado do Rio de Janeiro, sob diversas atividades agrícolas.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 6 p. (Embrapa Solos . Pesquisa em Andamento, 5).

CUNHA, N.G. **Considerações sobre os solos da Sub-região da Nhecolândia, Pantanal Mato-Grossense**. Corumbá: EMBRAPA-UEPAE, 1980. 45p. (EMBRAPA-UEPAE de Corumbá. Circular Técnica, 1).

DANIELSON, R.E.; SUTHERLAND, P.L. Porosity. IN: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v.1, p.443-461.

EITEN, G. Vegetação do cerrado. In: PINTO, M.N. (Ed.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília: UnB, 1990. p.9-65.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do SISVAR (Sistema para análise de variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO DA BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., São Carlos, 2000. **Anais...** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2000. p.255-258.

FERREIRA, M. M. ; DIAS JUNIOR, M. de S. **Física do solo**. 2001. 117 p. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 117p. Especialização (Curso de Pós-Graduação "Lato Sensu" Solos e Meio Ambiente) – Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, Universidade Federal de Lavras, Lavras.

GRANT, C.A.; LANFOND, G.O. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in Southern Saskatchewan. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.73, n.2, p.223-232, May 1993.

GROHMANN, F. Distribuição do tamanho de poros em três tipos de solo do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.19, n.21, p.319-328, 1960.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia**. São Paulo: Agrônomo Ceres, 1979. 264p.

LIMA, J.M.; CURI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D.P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.14, n.1, p.85-90, jan./abr. 1990.

MACIEL NETTO, A.M.; ANTONINO, A.C.D.; AUDRY, P.; CARNEIRO, C.J.G.; DALL'OLIO, A. Condutividade hidráulica não saturada de um Podzólico Amarelo da Zona da Mata Norte de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Viçosa, MG, v.35, n.6, p.1221-1228, jun. 2000.

OLIVEIRA, L. B. de. Determinação da macro e microporosidade pela mesa de tensão em amostras de solo com estrutura indeformada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 3, p. 197-200, jan./fev. 1968.

OLIVEIRA, T.S.; COSTA, L.M.; FIGUEIREDO, M.S.; REGAZZI, A.J. Efeitos dos ciclos de umedecimento e secagem sobre a estabilidade de agregados em água de quatro Latossolos Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 20, p. 509-515, 1996.

ORLOV, D.S. Organic substances of Russian soils. **Eurasian Soil Science**, Moscow, v.31, n.9, p.946-953, 1998.

PIZAURO JUNIOR, J.M.; MELO, W.J. Influência da incorporação da parte aérea de sorgo ou lablabe nas frações da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho-Escuro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 19, p.95-103, 1995.

POTT, A. **Pastagens no Pantanal**. Corumbá: EMBRAPA-CPAP, 1988. 58 p. (EMBRAPA-CPAP. Documentos, 7).

POTT, E.B.; CATTO, J.B.; BRUM, P.A.R. Períodos críticos de alimentação para bovinos em pastagens nativas, no Pantanal Mato-Grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.24, n.11, p.1427-1432, 1989.

RAIJ, B. van. Mecanismos de interação entre solos e nutrientes. In: RAIJ, B. van. (Ed.). **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1981. p.17-31.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema soloplanta-atmosfera**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 445p.

ROSCOE, R.; MACHADO, P.L.O.A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Embrapa Solos: Rio de Janeiro. 2002. 86p.

SALIS, S.M.; ASSIS, M.A.; CRISPIM, S.M.A.; CASAGRANDE, J.C. Distribuição e abundância de espécies arbóreas em cerradões no Pantanal, Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.29, n.3, p.339-353, jul./set. 2006.

SANTOS, S.A. **Caracterização dos recursos forrageiros nativos da sub-região da Nhecolândia, Pantanal, Mato-Grosso do Sul, Brasil**. 2001. 190 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

SANTOS, S.A.; COSTA, C.; SOUZA, G.S.; POTT, A.; ALVAREZ, J.M.; MACHADO, S.R. Composição Botânica da Dieta de Bovinos em Pastagem

Nativa na Sub-Região da Nhecolândia, Pantanal. **Revista Brasileira Zootecnia**, Piracicaba, v.31, n.4, p.1648-1662, jul./ago. 2002.

SILVA, J. dos S.V.; ABDON, M. dos M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n. 10, p.1703-1711, out. 1998. Especial.

SILVA, T.C. da. Contribuição da geomorfologia para o conhecimento e valorização do Pantanal. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 1., 1984, Corumbá. **Anais...** Brasília: EMBRAPA-DDT, 1986. p. 77-90. (EMBRAPA-CPAP. Documentos, 5).

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington: USDA-SCS, 1993

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.15, p.229-235, 1991.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V.L. **Recomendação para uso do penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar – Stolf**. São Paulo: MIC/IAA/PNMCA – Planalsucar, 1983. 8p. (Série penetrômetro de impacto – Boletim, n. 1).

TAYLOR, S.A.; ASHCROFT, G.L. **Physical edaphology – The physics of irrigated on monirrigated soils**. San Francisco: W.H. Freeman, 1972. 532p.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 19, n. 13, p.1467-1476, Oct. 1988.

CAPÍTULO 3

**Indicadores da qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e
nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense**

I – Atributos químicos

1 Resumo

CARDOSO, Evaldo Luis. Indicadores da qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense. I – Atributos químicos. In: _____. **Qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense**. 2008. Cap. 3, p. 48-75. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.¹

A pecuária de corte, favorecida pela riqueza dos recursos naturais, constitui a principal atividade econômica do Pantanal. Contudo, a busca por aumento de produtividade e maior competitividade dessa pecuária tem levado a desmatamentos para implantação de pastagens, despertando preocupações quanto à sustentabilidade dos sistemas de produção do Pantanal. Objetivou-se, neste estudo, avaliar as alterações nos atributos químicos do solo decorrentes da conversão da floresta nativa em pastagem cultivada e do sistema de pastejo contínuo em pastagem nativa, na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense. O trabalho consistiu da avaliação de ambientes de florestas nativas, pastagens de *Brachiaria decumbens*, implantadas em substituição às florestas nativas e com diferentes idades de formação e pastagens nativas sob sistema de pastejo contínuo, vedadas por 3 anos e sem pastejo por 19 anos (Reserva ecológica). Em cada ambiente, foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, com três repetições. A conversão da floresta nativa em pastagem cultivada determinou redução da fertilidade do solo e perda nos estoques de carbono orgânico total; por sua vez, a pastagem nativa submetida ao sistema de pastejo contínuo promoveu redução apenas nos estoques de carbono orgânico total, quando comparada com a mesma sem pastejo por 19 anos. Em ambientes de baixa fertilidade natural e não fertilizados, como o caso do Pantanal, o teor de matéria orgânica assume importante papel na manutenção dos ambientes.

Termos para indexação: Carbono orgânico, fertilidade do solo, substâncias húmicas, estoque de C e N, sustentabilidade.

¹ Orientador: Prof. Marx Leandro Naves Silva (UFLA/DCS)

2 Abstract

CARDOSO, Evaldo Luis. Soil quality indicators in cultivated and native pastures systems in the Nhecolandia sub-region, South Pantanal Wetlands. I – Chemical attributes. In: _____. **Soil quality of cultivated and native pastures systems in the Nhecolandia sub-region, South Pantanal Wetlands**. 2008. Chap. 3, p. 48-75. Thesis (Doctorate in Soil Science) – Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil.¹

Beef cattle raising, favored by the wealth of natural resources, constitutes the main economic activity of Pantanal Wetlands. However, the search for yield increases and greater competitiveness of this livestock raising has led to land clearing for cultivated pasture establishment, raising concerns related to the sustainability of Pantanal Wetlands production systems. This objective this work was to evaluate the alterations in the chemical attributes of soil due to the conversion of the native forest to cultivated pasture and of the continuous grazing system on native pasture in the Nhecolandia sub-region, South Pantanal Wetlands. The work consisted of the evaluation of environments of native forests, *Brachiaria decumbens* pastures with different formation ages, established in replacement of the native forests and native pastures under the continuous grazing system, without grazing for three years and without any grazing for 19 years (ecological reserve). In each environment, soil samples were collected at the depths of 0-10, 10-20 and 20-40 cm, with three replications. The conversion of the native forest into cultivated pasture resulted in a reduction in soil fertility and loss in the total organic carbon stores; in turn, the native pasture submitted to continuous grazing promoted reduction only in the stores of total organic carbon, when compared to the same system without any grazing for 19 years (ecological reserve). In low natural fertility and unfertilized environments, as in the case of the Pantanal Wetlands, the level of organic material plays an important role in the maintenance of the environments.

Index terms: Organic carbon, soil fertility, humic substances, store of C and N, sustainability.

¹ Adviser: Prof. Marx Leandro Naves Silva (UFLA/DCS)

3 Introdução

A criação extensiva de bovinos de corte representa a principal atividade econômica do Pantanal, onde o sistema tradicional de produção baseia-se principalmente na cria e recria, cujos índices zootécnicos são relativamente baixos. Um dos principais fatores dos baixos índices zootécnicos é a subnutrição, decorrente principalmente da estacionalidade das pastagens nativas, que constituem-se na alimentação básica dos bovinos. Como alternativas para aumentar a oferta de forragens para os bovinos e, conseqüentemente, elevar a produtividade e competitividade da pecuária pantaneira, desmatamentos das fisionomias arbóreas, não inundáveis ou parcialmente inundáveis, têm ocorrido para implantação de pastagem cultivada (Junk & Silva, 1999; Silva et al., 1998).

Esse cenário tem despertado preocupação quanto à sustentabilidade dos agroecossistemas do Pantanal, tendo em vista que ambientes de floresta nativa, notadamente aqueles estabelecidos em solos de baixa fertilidade natural, têm sua manutenção fortemente associada ao equilíbrio entre a cobertura vegetal e os processos biogeoquímicos do solo decorrentes. Segundo Malavolta (1987), a remoção da floresta para fins agrícolas causa uma quebra nos ciclos do carbono e dos nutrientes, os quais operam graças à entrada fotossintética do gás carbônico e à decomposição acelerada e contínua da matéria orgânica do solo, realizada pelos microorganismos (Moreira & Malavolta, 2004).

O conteúdo e a qualidade da matéria orgânica constituem atributos que podem ser utilizados para avaliar-se a qualidade do solo e a sustentabilidade de sistemas agrícolas (Mielniczuk, 1999). De acordo Bayer & Mielniczuk (2008), além de sensível às modificações no uso do solo, a matéria orgânica influencia a disponibilidade de nutrientes, a capacidade de troca de cátions e a complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, fundamentais em solos tropicais, na sua maioria altamente intemperizados e ácidos. Vários compartimentos da matéria

orgânica têm sido definidos como indicadores da qualidade do solo, em curto ou longo prazo, em relação às práticas de manejo. O carbono orgânico total identifica mudanças mais a longo prazo, em escala de décadas (Mielniczuk et al., 2003), ou mais precisamente, mudanças em relação à sua condição original. O carbono das substâncias húmicas, que pode estar associado às frações humina, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos, é mais sensível às mudanças a longo prazo e, em geral, quanto mais condensado estiver o C do solo, mais conservacionistas foram as práticas adotadas (Camargo et al., 1999a). Canellas et al. (2003) ressaltam que o uso da distribuição relativa das frações da matéria orgânica, como indicador da mudança de manejo do solo ou da qualidade do ambiente, tem sido amplamente relatado na literatura.

A derrubada da vegetação nativa para implantação de culturas, provoca remoção de sistemas biológicos complexos, multiestruturados, diversificados e estáveis (Canellas et al., 2003). A sua substituição por sistemas simples e instáveis provoca variações difíceis de quantificar, no ciclo dos elementos necessários ao crescimento das plantas, promovendo, geralmente, diminuição da fertilidade do solo. De acordo com os autores, o entendimento das modificações nas propriedades químicas do solo pode fornecer subsídios para a definição de estratégias de produção em bases sustentáveis.

Neste contexto, objetivou-se, neste trabalho, avaliar as alterações nos atributos químicos do solo, decorrentes da conversão da floresta nativa em pastagem cultivada e do sistema de pastejo contínuo em pastagem nativa, na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense.

4 Material e Métodos

O estudo foi realizado em duas fazendas localizadas na sub-região da Nhecolândia, cujo clima é tropical subúmido (Aw, Köppen), com temperatura

média anual de 26 °C e precipitação média de 800 a 1.200 mm (Cadavid Garcia, 1986). As áreas de estudo consistiram de ambientes de florestas nativas; pastagens cultivadas implantadas em substituição às florestas nativas; pastagens nativas submetidas ao sistema de pastejo contínuo e sem pastejo por 3 e 19 anos, conforme detalhou-se na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição e caracterização dos ambientes de estudo localizados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense.

Ambiente de estudo	Caracterização
FN1	Mata semidecídua – ocorrência de 24 diferentes espécies com altura média de 12,4 m e diâmetro médio de 27,0 cm; destacando-se como espécies mais abundantes: <i>Attalea phalerata</i> , <i>Rhamnidium elaeocarpum</i> , <i>Astronium fraxinifolium</i> (Salis, 2004). Localização: 18°34'57" S e 55°50'52" WGr.
PC27	Pastagem cultivada* - <i>Brachiaria decumbens</i> implantada em substituição à FN1, em área adjacente à mesma, com 27 anos de formação.
CE1	Cerradão - ocorrência de 30 diferentes espécies com altura média de 11,7 m e diâmetro médio de 15,8 cm; destacando-se como espécies mais abundantes: <i>Qualea grandiflora</i> , <i>Caryocar brasiliense</i> , <i>Lafoensia pacari</i> (Salis, 2004). Localização: 18°33'11" S e 55°48'41" WGr.
PC26	Pastagem cultivada* - <i>Brachiaria decumbens</i> implantada em substituição à CE1, em área adjacente à mesma, com 26 anos de formação.
CE2	Cerradão - ocorrência de 43 diferentes espécies com altura média de 7,5 m e diâmetro médio de 12,4 cm; destacando-se como espécies mais abundantes: <i>Alibertia sessili</i> , <i>Protium heptaphyllum</i> , <i>Zanthoxylum rigidum</i> (Salis, 2004). Localização: 18°59'57" S e 56°38'10" WGr.
PC11	Pastagem cultivada* - <i>Brachiaria decumbens</i> implantada em substituição à CE2, em área adjacente à mesma, com 11 anos de formação.
PNpc	Pastagem nativa - com predominância de <i>Axonopus purpusii</i> e <i>Mesosetum chaseae</i> e submetida ao sistema de pastejo contínuo. Localização: 18°59'25" S e 56°38'43" WGr
PNv3	Pastagem nativa - com predominância de <i>Axonopus purpusii</i> e <i>Mesosetum chaseae</i> e vedada por 3 anos, área adjacente e contígua à PNpc. Localização: 18°59'57" S e 56°38'01" WGr
PNv19	Pastagem nativa - com predominância de <i>Mesosetum chaseae</i> e sem pastejo por 19 anos, área de Reserva ecológica localizada na fazenda Nhumirim. Localização: 18°58'42" S e 56°37'00" WGr

*As pastagens cultivadas foram implantadas após a derrubada e queima da floresta nativa, não havendo qualquer tipo de correção ou adubação do solo.

Para a caracterização da quantidade e qualidade da serapilheira nos ambientes de floresta nativa, foram coletadas amostras constituídas basicamente por folhas e ramos mais fragmentados, realizadas por meio de quinze amostragens em cada floresta nativa, com molduras de 0,25 m². As amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 60 °C, moídas e submetidas à análise química. Os teores de N foram determinados por micro Kjeldahl, segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). No extrato, obtido por digestão nitroperclórica, foram determinados os teores totais de P, por colorimetria; K, por fotometria de chama; e Ca e Mg, por espectrofotometria de absorção atômica (Malavolta et al., 1997), cujos resultados constam na Tabela 2.

TABELA 2. Teor de nutrientes na serapilheira de diferentes ambientes de floresta nativa localizadas na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Matogrossense.

Floresta	Peso seco	C	N	P	K	Ca	Mg
	g m ⁻²	.....g kg ⁻¹					
FN1	1290	484	24	1,29	0,80	17,20	3,12
CE1	1212	479	14	0,83	0,01	7,79	1,99
CE2	1084	488	16	0,75	1,20	7,36	2,09

FN1: mata semidecídua; CE1: cerradão; CE2: cerradão.

C: carbono; N: nitrogênio; P: fósforo; K; potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio.

Para caracterização dos solos, em local representativo de cada ambiente de floresta nativa e na pastagem nativa sem pastejo por 19 anos (Reserva ecológica), ambientes naturais e considerados como ecossistemas referências, foram abertas trincheiras para descrição e coleta de perfis, de acordo com os procedimentos estabelecidos por Lemos & Santos (1982) e Embrapa (2006; 1997), conforme apresentados na Tabela 3.

TABELA 3. Caracterização física e química do solo dos diferentes ambientes de floresta nativa e pastagem nativa sem pastejo por 19 anos (Reserva ecológica) localizados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense.

Horizonte Prof.	Simb.	Composição granulométrica				pH	S	T	V	P	COT
		Areia		Silte	Argila						
		A.G.	A. F.								
cm		.....g kg ⁻¹				H ₂ O	.....cmol kg ⁻¹	%	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	
¹ FN1 - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico espódico, A moderado, eutrófico, relevo plano											
0-10	A1	200	710	60	30	5,1	4,1	6,2	66,0	10,0	12,8
-26	A2	180	740	50	30	5,1	3,9	6,5	60,2	6,8	8,7
-45	AE	180	740	50	30	6,1	3,7	5,0	74,1	11,5	6,4
-105	EA1	200	740	40	20	5,6	1,5	2,7	56,0	9,6	2,3
-148	EA2	210	730	30	30	5,5	0,8	1,8	43,2	8,2	1,2
-180	E1	190	760	20	30	5,8	0,5	1,4	34,8	6,5	0,6
-235	E2	210	730	30	30	5,8	0,8	1,7	45,8	2,3	0,0
-256	E3	170	760	50	20	5,6	0,6	1,5	40,0	0,9	0,6
-270	Bgnx	270	610	40	80	5,7	4,6	5,7	80,8	1,4	0,6
-285	Bs	150	760	40	50	4,4	0,3	1,6	18,2	0,9	0,6
¹ CE1 - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, A fraco, distrófico, relevo plano											
0-15	A	350	580	20	50	4,9	1,3	4,5	29,2	21,7	8,1
-40	CA	260	700	0	40	5,0	0,3	2,6	10,2	7,5	2,3
-74	C1	290	660	10	40	5,2	0,3	2,0	14,1	2,0	1,2
-97	C2	320	620	20	40	5,1	0,3	2,0	14,1	1,4	0,6
-148	C3	280	650	20	50	5,1	0,3	2,0	14,1	1,4	0,0
-180	C4	290	650	10	50	4,9	0,2	1,9	12,4	1,2	0,0
-210	C5	280	680	20	20	5,5	0,2	1,2	17,4	1,2	0,0

Continua...

Tabela 3. Cont.

Horizonte Prof.	Simb.	Composição granulométrica				pH	S	T	V	P	COT
		Areia		Silte	Argila						
		A.G.	A. F.								
cm	.....g kg ⁻¹				H ₂ O	.....cmol kg ⁻¹	%	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹		
² CE2 - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico solódico, A fraco eutrófico, relevo plano											
0 - 11	A1	470	460	20	50	4,6	0,7	0,7	100	7	2,7
- 59	A2	480	460	10	50	4,8	0,4	0,4	100	1	1,2
- 68	CA	510	410	30	50	4,6	0,2	0,2	100	1	0,2
- 102	C1	490	440	20	50	5,0	0,2	0,2	100	1	0,6
- 135	C2	490	450	10	50	5,7	0,3	0,3	100	1	0,3
- 164	Cn	430	510	10	50	5,7	0,1	0,1	100	1	0,5
- 186	C ^v	350	590	10	50	5,5	0,2	0,2	100	1	0,3
- 209	Cg	340	570	30	60	4,9	0,3	1,0	30	3	0,3
- 228	C ³	370	540	30	60	4,7	0,3	1,0	30	2	0,6
³ PNv19 - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico, A moderado distrófico, relevo plano											
0 - 7	A	240	660	50	50	5,4	0,3	1,8	17	4	3,7
- 15	AC	210	700	40	50	5,2	0,2	1,7	12	1	2,9
- 31	CA	230	620	100	50	5,3	0,1	1,3	8	1	1,7
- 54	C1	230	660	60	50	5,2	0,1	1,1	9	1	1,3
- 78	C2	220	680	50	50	5,1	0,2	1,0	20	1	1,0
- 119	C3	210	720	20	50	5,1	0,1	0,8	13	1	0,5
- 152	C4	220	680	50	50	5,4	0,1	0,8	13	1	0,6

FN1: mata semidecídua; CE1: cerradão; CE2: cerradão; PNv19: pastagem nativa sem pastejo por 19 anos (Reserva ecológica)

A.G.: areia grossa; A.F.: areia fina, S: soma de bases; T: CTC a pH 7,0; V: saturação por bases; P: fósforo disponível; COT: carbono orgânico.

¹Perfil descrito em outubro/2006 por Carvalho Filho, A.; Cardoso, E.L.; Silva, M.L.N.; ²Perfil descrito em outubro/1995 por Santos, R.D. dos; Oliveira, H.; Naime, U.J.; Carvalho Filho, A.; ³Perfil descrito em setembro/1997 por Cardoso, E.L.; Carvalho Filho, A.; Naime, U.J.

A amostragem do solo para avaliação dos atributos químicos, realizada a partir de transectos em cada ambiente de estudo, consistiu de coletas de amostras deformadas e indeformadas, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, com três repetições. As amostras deformadas, coletadas em minitrincheiras, foram secas ao ar e passadas em peneiras de 2 mm de diâmetro; as amostras com estrutura indeformada, para determinação da densidade do solo (Blake & Hartge, 1986) a ser utilizada no cálculo dos estoques de CO e N, foram coletadas com o uso do amostrador de Uhlund, sendo os cilindros de alumínio de dimensões médias de 8,25 cm de altura e 6,96 cm de diâmetro interno.

O teor de carbono orgânico total (CO) foi determinado pelo método descrito por Yeomans & Bremner (1988), cujo princípio é a oxidação do CO a quente com dicromato de potássio e titulação do dicromato remanescente, com sulfato ferroso amoniacal. Para avaliar a qualidade da matéria orgânica, utilizou-se o método de extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas, descrito por Benites et al. (2003), e com base na solubilidade diferenciada das substâncias húmicas em meios alcalino e ácido foram determinados os teores de CO associados à fração ácidos húmicos (C-FAH), à fração ácidos fúlvicos (C-FAF) e à humina (C-HU). O fracionamento das substâncias húmicas foi realizado apenas com amostras de solo coletadas nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm.

O nitrogênio total foi determinado pela digestão do solo com ácido sulfúrico e água oxigenada, seguida de destilação a vapor (Kjeldahl) com hidróxido de sódio e titulação do coletado com indicador de ácido bórico e ácido clorídrico. As formas de nitrogênio amoniacal e nítrico foram determinadas segundo Bremner & Keeney (1965), também nas profundidades 0-10 e 10-20 cm.

Os estoques de CO e associados às frações C-AF, C-AH, C-HU e os estoques de N total e das formas NO₃ e NH₄ foram calculados apenas para as profundidades 0-10 e 10-20 cm, da seguinte forma:

$$\text{Est (Mg ha}^{-1}\text{)} = \text{teor (g kg}^{-1}\text{)} \times \text{Ds (kg dm}^{-3}\text{)} \times \text{espessura da camada de solo (dm)}.$$

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com estrutura em faixas, devido às profundidades de amostragem. A análise de variância foi realizada utilizando-se os procedimentos do SISVAR (Ferreira, 2000). As comparações para verificação do efeito da conversão da floresta nativa em pastagem cultivada e do sistema de pastejo contínuo em pastagem nativa, em relação à mesma sem pastejo por 3 e 19 anos, foram realizadas por meio de contrastes ortogonais, a partir do desdobramento dos oito graus de liberdade dos ambientes de estudo. A significância dos contrastes de interesse, com um grau de liberdade, foi testada pelo teste F, a pelo menos 5% de probabilidade, levando-se em conta o quadrado médio do resíduo obtido pela análise de variância.

5 Resultados e Discussão

Na Tabela 4, encontram-se os resultados da análise química do solo dos diferentes ambientes de estudo nas três profundidades amostradas e os valores de F dos contrastes de interesse. Os sistemas de pastagem promoveram alterações nos atributos químicos do solo, notadamente na profundidade de 0-10 cm, expressa pela redução da fertilidade do solo nos sistemas de pastagem cultivada, enquanto que a pastagem nativa submetida ao sistema de pastejo contínuo não diferiu da mesma vedada por 3 anos ou sem pastejo por 19 anos.

TABELA 4. Atributos químicos do solo de diferentes ambientes localizados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Matogrossense, e valores de F dos contrastes de interesse.

Ambiente/ contraste	pH	Ca	Mg	S	T	t	K	P	CO	N	
	cmol _c dm ⁻³mg dm ⁻³g kg ⁻¹		
		Profundidade 0-10 cm									
FN1	6,1	3,53	1,70	5,40	8,13	5,40	66,3	12,7	15,8	1,33	
CE1	5,5	1,27	0,73	2,10	5,20	2,40	45,7	25,8	11,3	0,80	
CE2	4,8	1,10	0,63	1,80	4,20	2,07	44,3	8,9	7,6	0,80	
PC27	6,4	2,87	0,77	3,73	5,17	3,73	34,7	14,6	11,9	1,13	
PC26	5,5	1,00	0,20	1,30	3,57	1,67	28,0	29,9	6,6	0,73	
PC11	5,1	0,37	0,10	0,57	2,40	0,93	40,0	12,0	6,0	0,80	
PNpc	5,4	0,27	0,10	0,40	1,77	0,73	15,3	2,0	4,6	0,53	
PNv3	5,2	0,32	0,10	0,47	1,97	0,87	17,7	3,9	4,4	0,73	
PNv19	5,2	0,40	0,17	0,67	2,70	1,10	26,7	6,3	7,2	0,60	
		Valor de F									
FN1 vs PC27	2,94 ^{NS}	4,35*	18,31**	16,98**	53,02**	17,85**	19,79**	0,07 ^{NS}	28,53**	3,30 ^{NS}	
CE1 vs PC26	0,02 ^{NS}	0,69 ^{NS}	5,97*	3,91*	16,07**	3,48*	6,15*	2,13 ^{NS}	42,78**	0,36 ^{NS}	
CE2 vs PC11	1,87 ^{NS}	4,80*	5,97*	9,30**	19,52**	8,25**	0,37 ^{NS}	0,19 ^{NS}	4,89*	0,00 ^{NS}	
PNv3 vs PNpc	1,48 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,24 ^{NS}	0,11 ^{NS}	0,10 ^{NS}	0,07 ^{NS}	0,06 ^{NS}	3,16 ^{NS}	
PNv19 vs PNpc	1,87 ^{NS}	0,17 ^{NS}	0,09 ^{NS}	0,43 ^{NS}	5,25*	0,86 ^{NS}	2,53 ^{NS}	0,39 ^{NS}	13,96**	0,36 ^{NS}	

Continua...

Tabela 4. Cont.

Ambiente/ contraste	pH	Ca	Mg	S	T	t	K	P	CO	N	
		.....cmol _c dm ⁻³.....				.....mg dm ⁻³.....			.....g kg ⁻¹	
		Profundidade 10-20 cm									
FN1	6,1	2,60	1,07	3,77	5,93	3,77	48,3	10,2	11,2	0,80	
CE1	5,4	0,57	0,20	0,83	3,07	1,43	25,7	25,8	3,4	0,60	
CE2	4,9	0,30	0,10	0,50	2,13	0,90	21,7	15,6	4,0	0,67	
PC27	6,3	3,37	0,47	3,87	5,03	3,87	18,3	12,2	7,8	0,80	
PC26	5,5	0,73	0,20	0,93	2,17	1,03	8,0	16,3	2,7	0,60	
PC11	5,2	0,47	0,20	0,76	2,40	1,13	23,7	2,6	3,4	0,53	
PNpc	5,4	0,35	0,10	0,45	1,65	0,80	11,7	1,0	3,0	0,60	
PNv3	5,5	0,25	0,10	0,35	1,60	0,70	9,5	1,3	2,6	0,53	
PNv19	5,2	0,40	0,13	0,53	2,00	0,97	14,7	1,9	5,2	0,67	
		Valor de F									
FN1 vs PC27	2,58 ^{NS}	5,60*	7,36**	0,05 ^{NS}	4,74*	0,06 ^{NS}	17,27**	0,08 ^{NS}	22,61*	0,00 ^{NS}	
CE1 vs PC26	1,58 ^{NS}	0,26 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,05 ^{NS}	4,75*	1,00 ^{NS}	5,99*	1,83 ^{NS}	0,91 ^{NS}	0,00 ^{NS}	
CE2 vs PC11	3,11 ^{NS}	0,26 ^{NS}	0,20 ^{NS}	0,42 ^{NS}	0,41 ^{NS}	0,34 ^{NS}	0,07 ^{NS}	3,43 ^{NS}	0,57 ^{NS}	1,40 ^{NS}	
PNv3 vs PNpc	0,15 ^{NS}	0,09 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,09 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,80 ^{NS}	
PNv19 vs PNpc	1,30 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,71 ^{NS}	0,17 ^{NS}	0,16 ^{NS}	0,00 ^{NS}	9,90**	0,35 ^{NS}	

Continua...

Tabela 4. Cont.

Ambiente/ contraste	pH	Ca	Mg	S	T	t	K	P	CO	N	
		.....cmol _c dm ⁻³.....				.....mg dm ⁻³.....			.....g kg ⁻¹	
		Profundidade 20-40 cm									
FN1	6,4	2,13	1,20	3,43	4,93	3,43	47,7	10,8	6,2	0,67	
CE1	5,2	0,40	0,20	0,67	2,50	1,23	21,0	7,7	3,1	0,60	
CE2	5,1	0,23	0,10	0,43	2,00	0,83	22,0	18,9	2,5	0,60	
PC27	6,5	2,23	0,97	3,23	4,20	3,23	15,3	10,1	5,2	0,67	
PC26	5,3	0,33	0,13	0,47	2,00	0,90	9,0	5,2	2,7	0,60	
PC11	5,3	0,37	0,10	0,50	1,87	0,93	17,7	1,3	3,3	0,60	
PNpc	5,7	0,40	0,17	0,57	1,73	0,87	8,7	0,90	2,3	0,67	
PNv3	5,5	0,20	0,10	0,30	1,47	0,60	8,7	1,0	2,2	0,67	
PNv19	5,2	0,43	0,13	0,57	1,90	1,00	11,0	1,2	4,1	0,60	
		Valor de F									
FN1 vs PC27	2,60 ^{NS}	0,09 ^{NS}	1,14 ^{NS}	0,24 ^{NS}	3,24 ^{NS}	0,25 ^{NS}	20,62**	0,01 ^{NS}	1,68 ^{NS}	0,00 ^{NS}	
CE1 vs PC26	0,73 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,09 ^{NS}	0,24 ^{NS}	1,50 ^{NS}	0,71 ^{NS}	2,84 ^{NS}	0,89 ^{NS}	0,25 ^{NS}	0,00 ^{NS}	
CE2 vs PC11	3,22 ^{NS}	0,17 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,22 ^{NS}	0,10 ^N	0,06 ^{NS}	0,37 ^{NS}	2,47 ^{NS}	2,38 ^{NS}	0,00 ^{NS}	
PNv3 vs PNpc	1,05 ^{NS}	0,39 ^{NS}	0,09 ^{NS}	0,43 ^{NS}	0,42 ^{NS}	0,45 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,00 ^{NS}	
PNv19 vs PNpc	2,95 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,16 ^{NS}	0,11 ^{NS}	0,10 ^{NS}	0,00 ^{NS}	5,86 ^{NS}	0,36 ^{NS}	

69

FN1: mata semidecídua; CE1: cerradão; CE2: cerradão; PC27, PC26, PC11: pastagem cultivada com 27, 26 e 11 anos de formação, respectivamente, e implantadas em substituição à FN1, CE1, CE2, respectivamente; PNpc, PNv3, PNv19: pastagem nativa com sistema de pastejo contínuo, vedada por 3 anos, e sem pastejo por 19 anos (Reserva ecológica), respectivamente.

Ca: cálcio; Mg: magnésio; S: soma de bases trocáveis; T: CTC a pH 7,0; t: CTC efetiva; K: potássio; P: fósforo disponível; CO: carbono orgânico total; N: nitrogênio.

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade; *Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{NS} Não significativo.

Em relação à acidez ativa, não foram constadas diferenças significativas promovidas pela substituição da floresta nativa por pastagem cultivada e tão pouco pelo sistema de pastejo contínuo em pastagem nativa, cujos valores de pH variaram de 4,8 a 6,1; 4,9 a 6,3 e 5,1 a 6,5, respectivamente nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm, podendo ser classificada como acidez fraca à elevada (Alvarez V. et al., 1999); o mesmo sendo observado para os teores de P e N. No entanto, os teores de Ca, Mg, K, e os valores de soma de bases trocáveis (S), CTC a pH 7,0 (T) e CTC efetiva (t) foram significativamente reduzidos pela conversão da floresta nativa em pastagem cultivada, notadamente na profundidade de 0-10 cm, com destaque para reduções mais expressivas na pastagem com 11 anos de implantação (PC11), implantada em substituição a uma floresta de menor porte e com serapilheira de qualidade inferior às demais (Tabela 2).

Esses resultados podem ser atribuídos à menor reciclagem de nutrientes nos sistemas de pastagem cultivada em relação à floresta nativa, determinado pelo menor aporte de substrato orgânico na serapilheira, cujo processo de decomposição e mineralização, provavelmente, constitui a principal fonte de nutrientes para as plantas em ambientes não fertilizados, como o caso do Pantanal. Segundo Raij (1981), a contribuição da matéria orgânica para a CTC dos solos é importante e foi estimada entre 56 e 82% da CTC de solos sob condições tropicais, o que favorece a retenção de cátions e diminui as perdas por lixiviação. De acordo com Falleiro et al. (2003), a matéria orgânica pode exercer influência na CTC em virtude do aumento do balanço de cargas negativas ou da diminuição da atividade do H^+ , da qual participam também os cátions presentes na solução do solo. Bayer & Bertol (1999) atribuíram o aumento da CTC à elevação dos teores de matéria orgânica, principalmente da fração ácidos húmicos, responsáveis pela formação de muitas cargas negativas no solo.

Em relação aos teores de carbono orgânico total (CO), os resultados evidenciaram que a conversão da floresta nativa em pastagem cultivada e o sistema de pastejo contínuo em pastagem nativa, quando comparada com a mesma sem pastejo por 19 anos, determinaram perdas de CO (Tabela 3), com reduções, respectivamente nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, de 25%, 30% e 16% na pastagem com 27 anos de implantação (FN1 vs PC27); 42%, 21% e 13% na pastagem com 26 anos de implantação (CE1 vs PC26); 36%, 42% e 44% na pastagem nativa submetida ao sistema de pastejo contínuo (PNv19 vs PNpc). Enquanto na pastagem com 11 anos de implantação (CE2 vs PC11) houve redução de 21% e 15% nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente, e acréscimo de 32% na profundidade de 20-40 cm. Os teores de CO não diferiram em relação à pastagem vedada por 3 anos e a mesma submetida ao sistema de pastejo contínuo (PNv3 vs PNpc).

Os resultados relatados na literatura de teores CO encontrados em solos sob vegetação de mata nativa e sob pastagens em substituição à mesma, muitas vezes são contraditórios. Solos sob pastagem que apresentam teores iguais ou superiores aos encontrados em ambientes de mata e, em grande parte, atribuídos ao maior aporte de matéria orgânica proporcionado pelas raízes, têm sido relatados por vários autores (Geraldine et al., 1995; Cerri et al., 1996; Marchiori Júnior & Melo, 1999; Tarré et al., 2001). Por outro lado, teores mais altos nos solos sob vegetação de mata nativa e, geralmente, atribuídos ao maior aporte global de matéria orgânica, também têm sido reportados (Dantas, 1979; Daldato et al., 1986; Noordwijk et al., 1997; Fernandes et al., 1999).

Fernandes et al. (1999), estudando alterações na matéria orgânica do solo em pastagem cultivada no Pantanal, relataram que os teores de carbono em pastagem com 10 anos de formação foram iguais ao do cerrado nativo nos primeiros 10 cm e, a partir dessa profundidade, menores; por sua vez, na

pastagem com 20 anos de formação foram 25% e 32% menores, respectivamente, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm.

A avaliação dos estoques CO e associados às frações húmicas também evidenciaram alterações significativas promovidas pelos sistemas de pastagens cultivada e nativa, cujos resultados são apresentados na Tabela 5. Em geral, a conversão da floresta nativa em pastagem cultivada determinou perdas nos estoques de CO, sendo observadas reduções significativas apenas nas pastagens com maior tempo de implantação (FN1 vs PC27, CE1 vs PC26), cujo valor máximo de perda, 38%, foi constatado na pastagem com 26 anos de implantação (PC26). Embora a pastagem com 11 anos de implantação (PC11) também tenha apresentado tendência à perda de CO, essa redução foi menor que nas demais pastagens, não sendo constatada diferença significativa em relação à floresta nativa original (CE2 vs PC11).

Assim como constatado no presente estudo, Fernandes et al. (1999) observaram na pastagem com 10 anos de implantação no Pantanal, aumento de 4% no estoque de C, nos primeiros 10 cm do solo, em relação ao cerrado nativo, atribuídos à decomposição da biomassa radicular da vegetação original. Contudo, ao considerar a profundidade de 0-40 cm, as perdas no estoque foram de 15% e 28%, respectivamente para as pastagens com 10 e 20 anos de implantação. Contrariamente, Cerri et al. (1996) estudando pastagem cultivada após o desmatamento na região de Manaus, observaram uma diminuição de 20 a 30% de carbono total nos primeiros anos após o desmatamento e queima e, após 20 anos de uso com pastagem bem manejada, uma recuperação progressiva do carbono, chegando a superar o original.

TABELA 5. Estoque de carbono orgânico total (CO) e carbono associado às frações ácidos fúlvicos (C-FAF), ácidos húmicos (C-FAH) e humina (C-HU) em amostras do solo de diferentes ambientes localizados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Matogrossense, e valores de F dos contrastes de interesse.

Ambiente/ contraste	CO	Substâncias húmicas		
		C-FAF	C-FAH	C-HU
.....Mg ha ⁻¹				
Profundidade 0-10 cm				
FN1	22,03	0,60	7,30	14,33
CE1	16,77	0,87	4,30	11,41
CE2	10,97	1,66	1,98	8,35
PC27	18,60	0,50	4,87	13,46
PC26	10,47	0,67	2,31	7,67
PC11	9,40	1,24	1,13	6,63
PNpc	7,33	2,30	0,84	4,18
PNv3	6,93	2,40	0,80	3,95
PNv19	10,53	1,80	3,17	4,53
Valor de F				
FN1 vs PC27	9,53**	3,10*	30,50**	1,48 ^{NS}
CE1 vs PC26	32,11**	7,68**	20,45**	2,63 ^{NS}
CE2 vs PC11	1,99 ^{NS}	2,86*	3,76*	0,96 ^{NS}
PNv3 vs PNpc	0,12 ^{NS}	1,52 ^{NS}	0,66 ^{NS}	0,00 ^{NS}
PNv19 vs PNpc	8,28**	2,17**	5,53*	2,4 ^{NS}
Profundidade 10-20 cm				
FN1	16,83	0,13	6,93	9,90
CE1	5,10	0,20	0,82	4,29
CE2	5,97	0,51	0,84	4,48
PC27	12,43	0,10	2,33	8,89
PC26	4,53	0,19	0,86	3,11
PC11	5,80	0,55	0,84	4,63
PNpc	4,57	1,88	0,35	2,6
PNv3	4,40	1,55	0,16	2,23
PNv19	7,93	1,90	0,20	3,47
Valor de F				
FN1 vs PC27	15,23**	0,02 ^{NS}	109,61**	1,87 ^{NS}
CE1 vs PC26	0,25 ^{NS}	0,43 ^{NS}	0,00 ^{NS}	2,53 ^{NS}
CE2 vs PC11	1,19 ^{NS}	1,90 ^{NS}	0,85 ^{NS}	0,04 ^{NS}
PNv3 vs PNpc	0,02 ^{NS}	1,82 ^{NS}	0,10 ^{NS}	0,26 ^{NS}
PNv19 vs PNpc	8,87**	0,00 ^{NS}	0,18 ^{NS}	3,92 ^{NS}

FN1: mata semidecídua; CE1: cerradão; CE2: cerradão; PC27, PC26, PC11: pastagem cultivada com 27, 26 e 11 anos de formação, respectivamente, e implantadas em substituição à FN1, CE1, CE2, respectivamente; PNpc, PNv3, PNv19: pastagem nativa com sistema de pastejo contínuo, vedada por 3 anos, e sem pastejo por 19 anos (reserva), respectivamente. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade; *Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{NS} Não significativo.

Em relação à pastagem nativa submetida ao sistema de pastejo contínuo, quando comparada com a mesma sem pastejo por 19 anos (PNv19 vs PNpc), também foram observadas perdas significativas no estoque de CO, com reduções de, aproximadamente, 30 e 40%, respectivamente nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Esses resultados podem ser decorrentes do sistema de uso da pastagem nativa, a qual é submetida à permanente desfolha, determinada pela pressão de pastejo e, conseqüente reduzida quantidade de material orgânico para deposição no solo, caracterizando-se em ambiente marcado apenas pela extração de biomassa do sistema e, basicamente, sem nenhuma reposição.

A análise do fracionamento químico das substâncias húmicas revelou que a fração humina (C-HU) representou a maior parte do CO em todos os ambientes de estudo, com participação superior a 50%, seguida da fração ácido húmico (C-FAH) e ácido fúlvico (C-FAF), nas florestas nativas e sistemas de pastagem cultivada, e da fração C-FAF e C-FAH, nos sistemas de pastagem nativa (Tabela 5). Esses resultados estão compatíveis com a distribuição das frações húmicas em solos cultivados ou sob floresta nativa. A fração humina pode representar até cerca de 2/3 do carbono orgânico do solo, tem maior permanência no solo e, apesar de apresentar baixa reatividade, tem como principal função atuar sobre as condições físicas e químicas do solo (Andriulo et al., 1990; Leite et al., 2003).

Outros fatores, como a natureza oxidica da fração mineral e as reações de desidratação favorecidas pela alternância de períodos secos e úmidos, contribuem com a intensificação da formação de humina em solos tropicais (Dabin, 1981). A predominância de uma ou outra fração indica o estágio de mineralização da matéria orgânica e a incorporação de nitrogênio à estrutura húmica (Pizauro Jr. & Melo, 1995). Segundo Miranda et al. (2007), de acordo com os critérios de interpretação do fracionamento da matéria orgânica do solo,

adaptados da proposta de Dabin, por Canellas et al. (2003), valores menores que 45% de C-HU representam estágio fraco de humificação da matéria orgânica.

A conversão da floresta nativa em pastagem cultivada (FN1 vs PC27, CE1 vs PC26, CE2 vs PC11) e o sistema de pastejo contínuo em pastagem nativa (PNv19 vs PNpc, PNv3 vs PNpc) não promoveram alteração significativa na fração C-HU, porém determinaram variações significativas na participação das frações C-FAF e C-FAH no carbono total, notadamente na profundidade de 0-10 cm. Em relação aos sistemas de pastagem nativa, foram constadas alterações significativas apenas entre a pastagem nativa submetida ao sistema de pastejo contínuo e a mesma sem pastejo por 19 anos (PNv19 vs PNpc), expressa por aumento de 28% na fração C-FAF e perda de 73% na fração C-FAH na pastagem com sistema de pastejo contínuo. Nos sistemas de pastagem cultivada, as frações C-FAF e C-FAH sofreram perdas significativas, sendo, aproximadamente, de 17 e 33%, 23 e 46%, 25 e 43%, nas pastagens cultivadas com 27, 26 e 11 anos de formação, respectivamente, com tendência a maiores perdas na fração C-FAH. Esses resultados podem indicar tanto o menor aporte de material orgânico de boa qualidade, como possivelmente a menor atividade biológica na síntese de substâncias húmicas mais condensadas.

De acordo com Leite et al. (2003), em florestas naturais, sem perturbação do solo, constata-se maior polimerização de compostos húmicos, aumentando a proporção da fração C-FAH em relação à C-FAF. Além disso, o maior acúmulo de matéria orgânica do solo nesses sistemas naturais pode contribuir para aumento dos estoques de ácidos húmicos, por meio de processo de herança de compostos da matéria orgânica fresca, de modo semelhante ao que ocorreria com a humina herdada, particularmente, da lignina (Stevenson, 1994).

Ainda conforme com Cerri & Volkoff (1988), a presença de bases trocáveis é fator primordial no processo de humificação do solo, já que baixos teores de cátions trocáveis implicam baixa atividade biológica. Souza & Melo

(2003), ressaltam ainda, que a fração C-FAF, os quais são solúveis tanto em meio ácido como em meio alcalino, podem migrar para camadas inferiores do solo, o que pode causar enriquecimento relativo de ácidos húmicos na camada superficial.

Em relação N, em geral, seus estoques variaram de 0,86 a 1,87 Mg ha⁻¹ e 0,82 a 1,20 Mg ha⁻¹, nas profundidades 0-10 e 10-20 cm, respectivamente (Tabela 6), sendo ligeiramente superiores aos observados por Fernandes et al. (1999), em floresta nativa e pastagens cultivadas no Pantanal. Embora a quase totalidade do N do solo esteja presente na forma orgânica, sendo que seu teor depende do conteúdo de matéria orgânica e sua taxa de decomposição ou de mineralização, e mesmo os sistemas de pastagem nativa e cultivada terem promovido perdas de CO₂, ainda assim, não foram constatadas variações nos estoques de N, sendo o mesmo observado por Fernandes et al. (1999).

Em relação ao balanço das duas formas de N, a participação do N mineral (NO₃ + NH₄) no N total foi de 2,47 a 6,65% e 4,15 a 7,84%, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente. Os valores observados estão próximos daqueles citados por Camargo et al. (1999b) e Havlin et al. (2005), que destacam que as formas de N mineral contribuem com 2 a 5% do N total. Quanto aos estoques das formas minerais, o NH₄ foi superior ao NO₃ em todos os sistemas de uso da terra. No entanto, somente a forma NO₃ sofreu alteração em função dos diferentes sistemas de uso, sendo que a conversão da floresta nativa em pastagem cultivada, assim como o sistema de pastejo contínuo da pastagem nativa promoveram aumento no seu estoque, nas duas profundidades. Embora não significativa, houve também tendência de aumento nos estoques NH₄. Esses resultados refletem, possivelmente, uma maior taxa de mineralização do carbono orgânico nos sistemas de pastagem, aliado à provável maior imobilização nos sistemas de floresta, determinado principalmente pela alta relação C/N do material orgânico depositado na serrapilheira (Tabela 2).

TABELA 6. Estoque de N e das formas nítrica (NO₃) e amoniacal (NH₄) em amostras do solo de diferentes ambientes localizados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Matogrossense, e valores de F dos contrastes de interesse.

Ambiente/ contraste	N	Formas de N	
		NO ₃	NH ₄
.....Mg ha ⁻¹			
Profundidade 0-10 cm			
FN1	1,87	0,0186	0,0276
CE1	1,19	0,0198	0,0330
CE2	1,16	0,0189	0,0383
PC27	1,77	0,0206	0,0311
PC26	1,16	0,0212	0,0387
PC11	1,25	0,0207	0,0346
PNpc	0,86	0,0213	0,0359
PNv3	1,15	0,0209	0,0209
PNv19	0,87	0,0193	0,0320
Valor de F			
FN1 vs PC27	0,28 ^{NS}	30,31**	0,09 ^{NS}
CE1 vs PC26	0,01 ^{NS}	11,84**	0,23 ^{NS}
CE2 vs PC11	0,28 ^{NS}	272,84**	0,09 ^{NS}
PNv3 vs PNpc	2,79 ^{NS}	1,89 ^{NS}	1,75 ^{NS}
PNv19 vs PNpc	0,00 ^{NS}	17,05**	0,10 ^{NS}
Profundidade 10-20 cm			
FN1	1,20	0,0199	0,0299
CE1	0,89	0,0198	0,0329
CE2	0,96	0,0191	0,0542
PC27	1,28	0,0211	0,0352
PC26	1,00	0,0221	0,0403
PC11	0,82	0,0203	0,0304
PNpc	0,95	0,0211	0,0247
PNv3	0,87	0,0215	0,0250
PNv19	1,03	0,0205	0,0307
Valor de F			
FN1 vs PC27	0,19 ^{NS}	7,57**	0,21 ^{NS}
CE1 vs PC26	0,33 ^{NS}	23,21**	0,32 ^{NS}
CE2 vs PC11	0,63 ^{NS}	7,57**	3,14 ^{NS}
PNv3 vs PNpc	0,64 ^{NS}	1,89 ^{NS}	0,00 ^{NS}
PNv19 vs PNpc	0,15 ^{NS}	1,89 ^{NS}	0,24 ^{NS}

FN1: mata semidecídua; CE1: cerradão; CE2: cerradão; PC27, PC26, PC11: pastagem cultivada com 27, 26 e 11 anos de formação, respectivamente, e implantadas em substituição à FN1, CE1, CE2, respectivamente; PNpc, PNv3, PNv19: pastagem nativa com sistema de pastejo contínuo, vedada por 3 anos, e sem pastejo por 19 anos (Reserva), respectivamente. **Significativo ao nível de 1% de probabilidade; *Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{NS} Não significativo.

Mesmo em um ecossistema natural, ocorrem variações de umidade e temperatura que influenciam os processos físico-químicos e biológicos do solo, promovendo modificações na umidade do solo, atividade microbiana, teor e composição da matéria orgânica, complexo argilo-húmico, capacidade de troca catiônica e lixiviação de nutrientes (Miranda et al., 2006). Contudo, sob a ação antrópica essas modificações podem ser aceleradas e intensificadas. As alterações observadas nos atributos químicos do solo, com clara tendência de redução da fertilidade do solo nos sistemas de pastagens, está associado, possivelmente à redução do conteúdo de matéria orgânica, condicionada pelo menor aporte de substrato orgânico para formação da serapilheira, determinando assim, menor reciclagem de nutrientes e aumento de perdas por lixiviação. Segundo Moreira & Malavolta (2004), a produtividade dos ecossistemas naturais e de agroecossistemas introduzidos, e raramente fertilizados, depende da reciclagem dos nutrientes minerais contidos na serapilheira das plantas e da matéria orgânica do solo.

Em geral, a maior fertilidade do solo observada na floresta FN1 e no sistema de pastagem cultivada PC27, reforça a hipótese da essencialidade da matéria orgânica nesses ambientes. Haja vista que a vegetação característica da floresta FN1 é a mata semidecídua, a qual é constituída por uma vegetação capaz de contribuir com elevado e variado aporte de resíduos orgânicos na superfície do solo, cuja serapilheira foi superior às demais florestas (CE1 e CE2), tanto em quantidade como em teor de nutrientes no material (Tabela 2). Nota-se ainda, que a pastagem cultivada com 27 anos de formação (PC27), implantada em substituição à FN1, de maneira geral, apresentou melhores valores dos atributos químicos que os demais ambientes, até mesmo que as outras duas florestas nativas (CE1 e CE2), sugerindo que as condições remanescentes da mata semidecídua possam ainda estar prevalecendo na área de pastagem, mesmo após 27 anos de remoção da floresta. Cerri et al. (1996), avaliando a dinâmica de

carbono em solos da Amazônia, observaram que, mesmo após 8 anos do desmatamento e implantação da pastagem, ainda havia 50% do carbono do solo proveniente da mata original, demonstrando que grande parte da matéria orgânica da floresta, dependendo do tipo de manejo adotado, permanece sob forma estável. Costa (2005), estudando solo de tabuleiro no sul da Bahia, relatou que, mesmo após 28 anos de implantação de pastagem, foram observados valores médios de 55, 76 e 79% de carbono derivado da mata original, nas profundidades de 5, 15 e 30 cm, respectivamente.

6 Conclusões

A conversão da floresta nativa em pastagem cultivada determinou redução da fertilidade do solo, expressa principalmente por menores teores de Ca, Mg, K e valores de soma de bases trocáveis, CTC a pH 7,0 e CTC efetiva, além de promover perdas nos estoques de carbono orgânico total.

A pastagem nativa submetida ao sistema de pastejo contínuo, em relação aos atributos químicos analisados, promoveu perda significativa apenas nos estoques de carbono orgânico total, quando comparada com a mesma sem pastejo por 19 anos, não diferindo da pastagem vedada por 3 anos.

Os estoques de N total e da forma NH_4 não foram influenciados pelos sistemas de pastagens cultivada ou nativa, entretanto, o estoque da forma NO_3 foi aumentado pela conversão da floresta nativa em pastagem cultivada, assim como pelo sistema de pastejo contínuo da pastagem nativa.

Em ambientes de baixa fertilidade natural e não fertilizados, como o caso do Pantanal, o teor de matéria orgânica assume importante papel na manutenção dos ambientes. Portanto, práticas que favoreçam ou incrementem o seu teor no solo devem ser estimuladas.

7 Referências Bibliográficas

- ALVAREZ, V.V.H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.25-32.
- ANDRIULO, A.E.; GALANTINI, J.A.; PECORATI, C.; TORIONI, E. Materia organica del suelo en la región pampeana. I. Un método de fraccionamiento por tamizado. **Agrochimica**, Pisa, v.34, n.5-6, p.475-489, 1990.
- BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Mg, v. 23, n. 3, p.687-694, 1999.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. rev. e atual. - Porto Alegre: Metrópole, 2008, 7-18p.
- BENITES, V. M.; MÁDARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado e de baixo custo**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2003. 7 p. (Comunicado Técnico, 16).
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density, In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v.1, p.363-375.
- BREMNER, J.M.; KEENEY, D.R. Steam-distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. **Analytica Chimica Acta**, v.32, p.485-495, 1965.
- CADAVID GARCIA, E.A. **Estudo técnico-econômico da pecuária de corte do Pantanal Mato-Grossense**. Corumbá: EMBRAPA-CPAP, 1986. p. 126-127. (EMBRAPA-CPAP. Documentos, 4).
- CAMARGO, F.A.O.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J.; VIDOR, C. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999a. p.117-137.

CAMARGO, F. A. O.; SANTOS, G. A.; GUERRA, J. G. M. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre: Gênese, 1999b. p. 27-39.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n.5, p. 935-944, set./out. 2003.

CERRI, C.C.; VOLKOFF, B. Matéria orgânica de três solos dos campos inundáveis da Ilha de Marajó/PA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 12, p. 93-100, 1988.

CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; VOLKOFF, B.; MORAES, J.L. Dinâmica do carbono nos solos da Amazônia. In: ALVAREZ, V.V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. (Org.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/UFV, 1996. p. 61-69.

COSTA, O.V. **Estoque de carbono e indicadores da qualidade de solo de Tabuleiro sob pastagem no Sul da Bahia**. 2005. 64p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

DABIN, B. Les matières organiques dans les sols tropicaux normalement drainés. **Série Pedologic**, Paris, v.18, n.3-4, p.197-215, 1980/1981.

DADALTO, G.G.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W. Alterações em características químicas de solos cultivados com pastagens. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v.3, p.395-403, 1986.

DANTAS, M. Pastagens da Amazônia Central: ecologia e fauna do solo. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 9, p.5-51, 1979.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Ministério da Agricultura e Abastecimento. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 2006. 3006p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S.; SEDIYAMA; C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades

químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, N. 6, p. 1097-1104, nov./dez. 2003.

FERNANDES, A.F.; CERRI, C.C.; FERNADES, A.H.B.M. Alterações na matéria orgânica de um Podzol Hidromórfico pelo uso com pastagens cultivadas no Pantanal Mato-Grossense. . **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.10, p.1943-1951, out. 1999.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do SISVAR (Sistema par análise de variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO DA BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., São Carlos, 2000. **Anais...** São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, 2000. p.255-258.

GERALDES, A.P.A.; CERRI, C.C.; FEIGL, B.J. Biomassa microbiana de solo sob pastagem na Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Mg, v. 19, p.55-60, 1995.

HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.B. **Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management**. 7.ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005. 515p.

JUNK, W.J.; SILVA, C.J. O conceito do pulso de inundação e suas implicações para o Pantanal de Mato Grosso. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS, 2., Corumbá, 1996. **Anais...** Manejo e Conservação. Brasília: SPI, 1999. p.17-28.

LEMO, R.C.; SANTOS, R.D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo campo**. 2. ed. Campinas: SBCS/EMBRAPA -SNLCS, 1982. 46 p.

LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L.; MACHADO, P.L.O.A., GALVÃO, J.C.C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 5, p.821-832, set./out. 2003.

MALAVOLTA, E. Fertilidade dos solos da Amazônia. In: VIEIRA, L.S.; SANTOS, P.C.T.C. (Ed.). **Amazônia: seus solos e outros recursos naturais**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1987. p.374-416.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba.: POTAFOS, 1997. 319P.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELLO, W.J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e

cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p.257-263, 1999.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. 1-5p.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F. F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M. de; LOPES, A.S.; ALVAREZ, V.H. (Org.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2003. v. 3, p. 209-248.

MIRANDA, C.C.; CAMELLAS, L.P.; NASCIMENTO, M.T. Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de mata atlântica e em plantios abandonados de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p.905-916, set./out. 2007.

MIRANDA, J.; COSTA, L.M.; RUIZ, H.A.; EINLOFT, R. Composição química da solução de solo sob diferentes coberturas vegetais e análise de carbono orgânico solúvel no deflúvio de pequenos cursos de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 4, p.633-647, jul./ago. 2006.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1103-1110, nov. 2004.

NOORDWIJK, M.V.; CERRI, C.C.; WOOMER, P.L.; NUGROHO, K.; BERNOUX, M. Soil carbon dynamics in the humid tropical forest zone. **Geoderma**, Amsterdam, v. 9, p.187-225, Sept. 1997.

PIZAURO Jr., J.M.; MELO, W.J. Influência da incorporação da parte aérea de sorgo ou lablabe nas frações da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho-Escuro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 19, p.95-103, 1995.

RAIJ, B. van. Mecanismos de interação entre solos e nutrientes. In: RAIJ, B. van. (Ed.). **Avaliação da fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1981. p.17-31.

SILVA, J. dos S.V.; ABDON, M. dos M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n. 10, p.1703-1711, out. 1998. Especial.

SOUZA, W.J.O.; MELO, W.J. Matéria orgânica em um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Mg, v. 27, n. 6, p.1113-1122, nov./dez. 2003.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry**: genesis, composition, reactions. 2. ed. New York: J. Wiley, 1994. 496 p.

TARRÉ, R.; MACEDO, R.; CANTARUTTI, R.B.; REZENDE, C.P.; PEREIRA, J.M.; FERREIRA, E.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. The effect of the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.234, p.15-36, July 2001.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New, York, v. 19, p.1467-1476, Oct. 1988.

CAPÍTULO 4

**Indicadores da qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e
nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense
II – Atributos físicos**

1 Resumo

CARDOSO, Evaldo Luis. Indicadores da qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense. II – Atributos físicos. In: _____. **Qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense**. 2008. Cap. 4, p. 77-102. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.¹

Este trabalho teve por objetivo avaliar as alterações nos atributos físicos do solo decorrentes da conversão da floresta nativa em pastagem cultivada e do sistema de pastejo contínuo em pastagem nativa, na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense. O trabalho consistiu na avaliação de ambientes de florestas nativas, pastagens de *Brachiaria decumbens*, implantadas em substituição às florestas nativas e com diferentes idades de formação e pastagens nativas sob sistema de pastejo contínuo, vedadas por 3 anos e sem pastejo por 19 anos (Reserva ecológica). Em cada ambiente, foram coletadas amostras de solo, deformadas e indeformadas, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, com três repetições. Os atributos físicos analisados foram sensíveis ao refletirem a redução da qualidade do solo promovida pela substituição da floresta nativa por pastagem cultivada e pelo sistema de pastejo contínuo em pastagem nativa. De modo geral, nos sistemas de pastagens cultivada e nativa com sistema de pastejo contínuo, a densidade do solo e a resistência do solo à penetração aumentaram e a porosidade total, a macroporosidade e a condutividade hidráulica do solo saturado diminuíram, porém não o suficiente para enquadrarem-se em classes que indiquem restrições ao desenvolvimento das plantas.

Termos para indexação: Densidade do solo, porosidade, resistência à penetração, conservação ambiental, pastagem cultivada, pastagem nativa.

¹ Orientador: Prof. Marx Leandro Naves Silva (UFLA/DCS)

2 Abstract

CARDOSO, Evaldo Luis. Soil quality indicators in cultivated and native pastures systems in the Nhecolandia sub-region, south Pantanal Wetlands. II – Physical attributes. In: _____. **Soil quality of cultivated and native pastures systems in the Nhecolandia sub-region, South Pantanal Wetlands**. 2008. Chap. 4, p. 77-102. Thesis (Doctorate in Soil Science) – Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil.¹

This objective of this work was to evaluate the alterations in soil physical attributes due to the conversion of native forests to cultivated pasture and of the continuous grazing system on native pasture in Nhecolandia sub-region, South Pantanal Wetlands. The work consisted of the evaluation of environments of native forests, *Brachiaria decumbens* pastures of different formation ages established in replacement of the native forests and native pastures under continuous grazing, without grazing for 3 years and without any grazing for 19 years (ecological reserve). In each environment, disturbed and non-disturbed soil samples were collected, at the depths of 0-10, 10-20 and 20-40cm, with three replications. The physical attributes investigated were sensitive in reflecting the reduction of soil quality promoted by the replacement of the native forest by cultivated pasture and the continuous grazing system on native pasture. In general, in the cultivated pasture systems and native pasture under continuous grazing, bulk density and soil resistance to penetration increased, while total porosity, macroporosity and hydraulic conductivity of saturated soil decreased, not enough, however, to encompass all the classes which indicate restriction to plant development.

Index terms: Bulk density, porosity, penetration resistance, environmental conservation.

¹ Adviser: Prof. Marx Leandro Naves Silva (UFLA/DCS)

3 Introdução

Reconhecido como uma das maiores extensões úmidas contínuas do planeta, o Pantanal é marcado por peculiaridades, como estações de seca e de cheia, solos de baixa fertilidade natural, dificuldade de acesso, dentre outras, que restringiram a sua ocupação e a interferência antrópica, tornando a pecuária extensiva a principal atividade econômica da região. Desenvolvida no sistema tradicional de produção, essa pecuária de corte apresenta índices zootécnicos relativamente baixos, decorrentes, principalmente, da estacionalidade das pastagens nativas, base da alimentação dos bovinos. Dessa forma, o Pantanal tem enfrentado grande pressão política, econômica e social diante da necessidade de compatibilizar aumentos de produtividade com a conservação ambiental.

A busca por aumento de produtividade e maior competitividade da pecuária pantaneira tem levado ao desmatamento das fisionomias arbóreas, não inundáveis ou parcialmente inundáveis, para implantação de pastagem cultivada (Junk & Silva, 1999; Silva et al., 1998). Esse cenário tem despertado preocupação quanto à sustentabilidade dos agroecossistemas do Pantanal, tendo em vista que essas ações, de maneira geral, são conduzidas sem considerar as características peculiares dos distintos ambientes que compõem a paisagem e, invariavelmente, tendem a contribuir para o desequilíbrio ambiental, e nem sempre resultam em aumento de produtividade. O equilíbrio entre aumento de produtividade e conservação ambiental representa o anseio não só dos produtores, mas de toda a sociedade, devendo ser compatibilizado através da implementação de práticas de manejo que promovam o desenvolvimento dos sistemas de produção, bem como de instrumentos que permitam monitorar a sustentabilidade dos mesmos. Portanto, um modelo de desenvolvimento sustentável pressupõe um profundo conhecimento dos aspectos ambientais,

econômicos e sociais componentes do sistema de produção em questão. Nesse contexto o elemento solo assume papel de destaque.

Para Correia (1999), o desconhecimento do funcionamento global dos sistemas em regiões tropicais, tanto naturais quanto de pastagens cultivadas, bem como das estratégias de manejo, constitui o principal responsável pela degradação dos solos. Segundo Doran & Parkin (1994), o manejo da terra é considerado sustentável apenas quando mantém ou melhora a qualidade dos recursos naturais, entre os quais o ar e o solo. Ainda conforme os mesmos autores, ao solo são atribuídas as funções de sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde humana, animal e vegetal. A quantificação das alterações nos atributos do solo, decorrentes da intensificação de sistemas de uso e manejo, pode fornecer importantes subsídios para a definição de sistemas racionais de manejo, contribuindo assim para tornar o solo menos suscetível à perda de capacidade produtiva.

Muitos atributos físicos do solo têm sido utilizados para quantificar as alterações provocadas pelos diferentes sistemas de manejo, ou até mesmo como indicadores de qualidade do solo. A densidade do solo é usada na estimativa da estrutura do solo com relação ao potencial de lixiviação, produtividade e aspectos erosivos (Doran & Parkin, 1994), sendo afetada por vários fatores, como sistema de manejo, tipo de cobertura vegetal, quantidade de resíduos à superfície e teor de matéria orgânica do solo (Cavenage et al., 1999; Tormena et al., 2002; Cruz et al., 2003; Spera et al., 2004). O volume total de poros depende da composição granulométrica e da estruturação, cujos limites são muito amplos, porém, valores de macroporos inferiores a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ podem ser restritivos às trocas gasosas e ao crescimento das raízes da maioria das culturas (Taylor & Ashcroft, 1972). Valores superiores de porosidade total e macroporosidade em superfície, decorrentes do preparo do solo, têm sido relatados (Cruz et al., 2003; Tormena et al., 2004; Bertol et al., 2004).

Objetivou-se, neste trabalho, avaliar as alterações nos atributos físicos do solo, decorrentes da conversão da floresta nativa em pastagem cultivada e do sistema de pastejo contínuo em pastagem nativa, na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense.

4 Material e Métodos

O estudo foi realizado em duas fazendas localizadas na sub-região da Nhecolândia, cujo clima é tropical sub-úmido (Aw, Köppen), com temperatura média anual de 26 °C e precipitação média de 800 a 1.200 mm (Cadavid Garcia, 1986). As áreas de estudo consistiram de ambientes de florestas nativas, pastagens cultivadas implantadas em substituição às florestas nativas e pastagens nativas submetida ao sistema de pastejo contínuo e sem pastejo por 3 e 19 anos, conforme detalhadas na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição e caracterização dos ambientes de estudo localizados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense.

Ambiente de estudo	Caracterização
FN1	Mata semidecídua – ocorrência de 24 diferentes espécies com altura média de 12,4 m e diâmetro médio de 27,0 cm; destacando-se como espécies mais abundantes: <i>Attalea phalerata</i> , <i>Rhamnidium elaeocarpum</i> , <i>Astronium fraxinifolium</i> (Salis, 2004). Localização: 18°34'57" S e 55°50'52" WGr.
PC27	Pastagem cultivada* - <i>Brachiaria decumbens</i> implantada em substituição à FN1, em área adjacente à mesma, com 27 anos de formação.
CE1	Cerradão - ocorrência de 30 diferentes espécies com altura média de 11,7 m e diâmetro médio de 15,8 cm; destacando-se como espécies mais abundantes: <i>Qualea grandiflora</i> , <i>Caryocar brasiliense</i> , <i>Lafoensia pacar</i> (Salis, 2004). Localização: 18°33'11" S e 55°48'41" WGr.
PC26	Pastagem cultivada* - <i>Brachiaria decumbens</i> implantada em substituição à CE1, em área adjacente à mesma, com 26 anos de formação.

Continua...

Tabela 1. Cont.

Ambiente de estudo	Caracterização
CE2	Cerradão - ocorrência de 43 diferentes espécies com altura média de 7,5 m e diâmetro médio de 12,4 cm; destacando-se como espécies mais abundantes: <i>Alibertia sessili</i> , <i>Protium heptaphyllum</i> , <i>Zanthoxylum rigidum</i> (Salis, 2004). Localização: 18°59'57" S e 56°38'10" WGr.
PC11	Pastagem cultivada* - <i>Brachiaria decumbens</i> implantada em substituição à CE2, em área adjacente à mesma, com 11 anos de formação.
PNpc	Pastagem nativa - com predominância de <i>Axonopus purpusii</i> e <i>Mesosetum chaseae</i> e submetida ao sistema de pastejo contínuo. Localização: 18°59'25" S e 56°38'43" WGr
PNv3	Pastagem nativa - com predominância de <i>Axonopus purpusii</i> e <i>Mesosetum chaseae</i> e vedada por 3 anos, área adjacente e contígua à PNpc. Localização: 18°59'57" S e 56°38'01" WGr
PNv19	Pastagem nativa - com predominância de <i>Mesosetum chaseae</i> e sem pastejo por 19 anos, área de Reserva ecológica localizada na fazenda Nhumirim. Localização: 18°58'42" S e 56°37'00" WGr

*As pastagens cultivadas foram implantadas após a derrubada e queima da floresta nativa não havendo qualquer tipo de correção ou adubação do solo.

A amostragem do solo consistiu da realização de transectos em cada ambiente de estudo e coleta de amostras deformadas e indeformadas, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, com três repetições. As amostras deformadas, coletadas em minitrincheiras, foram secas ao ar e passadas em peneiras de 2 mm de diâmetro; as amostras com estrutura indeformada foram coletadas com o uso do amostrador de Uhland, sendo os cilindros de alumínio de dimensões médias de 8,25 cm de altura e 6,96 cm de diâmetro interno. A análise granulométrica do solo foi realizada pelo método da pipeta, segundo Day (1965), com o emprego de NaOH 1 mol L⁻¹ como dispersante químico e agitação rápida (12.000 rpm), durante 10 minutos.

A densidade do solo foi determinada conforme Blake & Hartge (1986a) e a densidade de partículas, pelo método do balão volumétrico, segundo Blake &

Hartge (1986b). O volume total de poros foi determinado segundo expressão preconizada por Danielson & Sutherland (1986) e a distribuição de poros por tamanho foi determinada utilizando-se unidade de sucção, com 60 cm de altura de coluna de água, para separação de macro e microporos. O volume de água retido nas amostras após o equilíbrio foi relacionado à microporosidade, sendo a macroporosidade obtida por diferença (Grohmann, 1960; Oliveira, 1968).

A condutividade hidráulica do solo saturado (K_s) foi determinada por meio de permeâmetro de carga constante, seguindo metodologia descrita por Lima et al. (1990), com o uso de amostras indeformadas saturadas previamente por capilaridade. Considerou-se, para efeito de cálculo, o valor estabilizado após cinco leituras iguais. A resistência do solo à penetração foi avaliada utilizando-se o penetrômetro de impacto (mod. IAA/PLANALSUCAR – STOFF), segundo metodologia preconizada por Stolf et al. (1983) e Stolf (1991). Os valores obtidos em kgf cm^2 foram multiplicados pelo fator 0,098 para expressar os resultados em MPa. A umidade do solo no momento do teste de resistência à penetração foi determinada pelo método gravimétrico.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com estrutura em faixas, devido às profundidades de amostragem. A análise de variância foi realizada utilizando-se os procedimentos do SISVAR (Ferreira, 2000). As comparações para verificação do efeito da conversão da floresta nativa em pastagem cultivada e do sistema de pastejo contínuo em pastagem nativa, em relação à mesma sem pastejo por 3 e 19 anos, foram realizadas por meio de contrastes ortogonais, a partir do desdobramento dos oito graus de liberdade dos ambientes de estudo. A significância dos contrastes de interesse, com um grau de liberdade, foi testada pelo teste F, a pelo menos 5% de probabilidade, levando-se em conta o quadrado médio do resíduo obtido pela análise de variância.

5 Resultados e Discussão

A composição granulométrica média do solo dos ambientes de estudo é apresentada na Tabela 2. A fração areia predomina em todos os ambientes, com valores superiores a 900 g kg^{-1} , sendo, portanto, os solos enquadrados na classe textural areia, encontrando-se ainda, a fração areia fina em alta proporção. Os teores de argila variaram de 30 a 49 g kg^{-1} e os de silte de 18 a 64 g kg^{-1} . A composição granulométrica desses solos é resultado dos depósitos aluvionares à margem esquerda do rio Taquari, cujos sedimentos quaternários são de constituição essencialmente arenosa, favorecendo a formação de NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, com caráter hidromórfico nos campos nativos sujeitos à inundações periódicas.

TABELA 2. Distribuição de partículas do solo de diferentes ambientes localizados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Matogrossense.

Ambiente	Argila	Silte	Total	Areia Grossa	Fina
	.....g kg ⁻¹				
FN1	36	64	900	188	712
CE1	49	22	929	277	652
CE2	34	21	945	158	787
PC27	30	54	916	212	704
PC26	48	24	928	245	683
PC11	38	38	924	107	817
PNpc	34	21	945	137	808
PNv3	33	18	949	137	812
PNv19	35	46	919	105	814

FN1: mata semidecídua; CE1: cerradão; CE2: cerradão; PC27, PC26, PC11: pastagem cultivada com 27, 26 e 11 anos de formação, respectivamente, e implantadas em substituição à FN1, CE1, CE2, respectivamente; PNpc, PNv3, PNv19: pastagem nativa com sistema de pastejo contínuo, vedada por 3 anos, e sem pastejo por 19 anos (Reserva ecológica), respectivamente.

A densidade do solo foi significativamente influenciada pelos sistemas de pastagens cultivada e nativa, sendo que os menores valores foram observados nos ambientes naturais, representados pelas florestas nativas e pela pastagem nativa sem pastejo por 19 anos (FN1, CE1, CE2, PNv19), variando de 1,40 a 1,50 kg dm⁻³, 1,44 a 1,55 kg dm⁻³ e 1,49 a 1,54 kg dm⁻³, respectivamente, nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm (Tabela 3). Por sua vez, os maiores valores foram observados nos sistemas submetidos à ação antrópica, representados pelos sistemas de pastagens cultivada e nativa submetida ao sistema de pastejo contínuo (PC27, PC26, PC11, PNpc), os quais variaram de 1,56 a 1,61 kg dm⁻³; 1,54 a 1,62 kg dm⁻³; 1,56 a 1,64 kg dm⁻³, respectivamente, nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm. Esses valores de densidade foram significativamente superiores aos observados nos respectivos ambientes naturais, no caso da pastagem cultivada em substituição à floresta nativa (FN1 vs PC27, CE1 vs PC26, CE2 vs PC11) em todas as profundidades, e em relação à pastagem nativa sob sistema de pastejo contínuo, comparada com a mesma sem pastejo por 19 anos (PNv19 vs PNpc), apenas na profundidade de 0-10 cm.

Nos sistemas de pastagem cultivada, nota-se uma tendência de aumento mais elevado da densidade com o maior tempo de implantação da pastagem, a qual pode estar associada à maior degradação da pastagem e, conseqüentemente, da menor cobertura do solo. Ressalta-se ainda, que o contraste PNv3 vs PNpc, demonstra que, mesmo após 3 anos sem pastejo, a densidade do solo não diferiu da pastagem submetida ao sistema de pastejo contínuo, ou seja, o período de 3 anos sem pastejo não foi suficiente para a densidade voltar à condição original. Embora os sistemas de pastagem cultivada estejam entre os que apresentaram maior valor de densidade do solo, o maior valor observado foi na pastagem nativa sob sistema de pastejo contínuo (PNpc) (1,61 kg dm⁻³), na profundidade de 0-10 cm, evidenciando que a compactação do solo pode ocorrer, e ser até

mesmo maior, em áreas de pastagem nativa submetidas ao sistema de pastejo intensivo, do que em áreas desmatadas para implantação de pastagens.

TABELA 3. Densidade do solo (Ds), em amostras do solo de diferentes ambientes localizados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Matogrossense, e valores de F dos contrastes de interesse.

Ambiente/ contraste	Ds (kg dm ⁻³)		
	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-40
FN1	1,40	1,50	1,53
CE1	1,50	1,49	1,54
CE2	1,44	1,44	1,49
PC27	1,56	1,59	1,63
PC26	1,59	1,66	1,64
PC11	1,56	1,54	1,56
PNpc	1,61	1,6	1,57
PNv3	1,57	1,62	1,61
PNv19	1,45	1,54	1,54
	Valor de F		
FN1 vs PC27	26,36**	8,17**	9,60**
CE1 vs PC26	11,17**	28,91**	10,28**
CE2 vs PC11	13,99**	7,51**	5,03*
PNv3 vs PNpc	1,38 ^{NS}	0,62 ^{NS}	1,64 ^{NS}
PNv19 vs PNpc	25,24**	3,21 ^{NS}	0,96 ^{NS}

FN1: mata semidecídua; CE1: cerradão; CE2: cerradão; PC27, PC26, PC11: pastagem cultivada com 27, 26 e 11 anos de formação, respectivamente, e implantadas em substituição à FN1, CE1, CE2, respectivamente; PNpc, PNv3, PNv19: pastagem nativa com sistema de pastejo contínuo, vedada por 3 anos, e sem pastejo por 19 anos (Reserva ecológica), respectivamente.

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade; *Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{NS} Não significativo.

Segundo Bertol et al. (2000), no campo natural e mata nativa a ausência de pressão mecânica exercida pelo pastejo, e a expressiva contribuição de material orgânico adicionado ao solo pela vegetação, especialmente pelas raízes

no campo natural e pelas folhas e galhos na mata nativa, é que contribuem para menores valores de densidade do solo. Valores de densidade do solo superiores em áreas de pastagem têm sido relatados por vários autores (Anjos et al., 1994; Muller et al., 2001; Neves et al., 2007; Spera et al., 2004), e, em sua maioria, associados às altas pressões exercidas pelo pisoteio dos animais. Willatt & Pullar relataram diversas pressões exercidas por animais em pastejo, como 0,2 MPa por bois da raça Jersey; 0,08 MPa por ovinos e 0,06 MPa por caprinos. Na literatura, são ainda mencionados valores que variam entre 0,25 MPa e 0,49 MPa para bovinos de 400 a 500 kg, podendo atingir a profundidade de 5 a 10 cm (Carvalho, 1976; Proffitt et al., 1993). O efeito do pisoteio do gado ocorre principalmente nos primeiros centímetros do solo (Kondo & Dias Júnior, 1999), comprovado por aumentos superiores na profundidade de 0-10 cm, observados tanto nos sistemas de pastagem cultivada, como no sistema de pastejo contínuo da pastagem nativa.

A densidade do solo em sistemas de pastagem, pode ainda ser influenciada, principalmente, pela idade e tipo de forrageira, pela taxa de lotação animal empregada, pela umidade no momento do pastejo e pela textura do solo (Imhoff et al., 2000). De acordo com Oliveira et al. (1996), a maior densidade do solo nas camadas superficiais de sistemas de pastagem, em comparação com a mata nativa, pode estar associada à maior predisposição dessas áreas a ciclos de umedecimento e secagem do solo, determinada, principalmente, pela menor cobertura vegetal. Embora os valores de densidade do solo tenham sido relativamente altos, notadamente aqueles observados nos sistemas de pastagens cultivada e nativa sob pastejo contínuo, os mesmos não representam restrição ao desenvolvimento radicular das plantas, visto que o valor de 1,70-1,75 kg dm⁻³ é considerado como o mínimo acima da qual haveria restrição ao desenvolvimento de raízes (Arshad et al., 1996).

A porosidade total e a distribuição de poros por tamanho foi significativamente alterada pelos sistemas de pastagens cultivada e nativa, sendo os maiores valores de porosidade total e macroporosidade constatados nos ambientes naturais (FN1, CE1, CE2 e PNv19) e os menores valores nos sistemas de pastagens cultivada e nativa (PC27, PC26, PC11 e PNpc) (Tabela 4). Os resultados observados são compatíveis com a menor porosidade de solos arenosos, visto que como suas partículas são predominantemente grandes, a tendência é formar a disposição piramidal, que tem menor espaço de vazios, gerando uma porosidade que varia de 0,35 a 0,50 m³ m⁻³, em solos arenosos (Kiehl, 1979). Como o efeito do pisoteio dos animais ocorre mais acentuadamente na camada superficial do solo, na profundidade de 0-10 cm, nos sistemas de pastagens cultivada e nativa foram constatadas reduções significativas da porosidade total e macroporosidade, correspondendo, respectivamente, a 11% e 32% na pastagem com 27 anos de implantação (FN1 vs PC27), 12% e 59% na pastagem com 26 anos de implantação (CE1 vs PC26), 11% e 53% na pastagem com 11 anos de implantação (CE2 vs PC11) e 12% e 28% na pastagem nativa sob sistema de pastejo contínuo (PNv19 vs PNpc).

Em todos os sistemas de pastagens cultivada e nativa constata-se que as reduções observadas na macroporosidade foram expressivamente superiores à porosidade total, evidenciando que esse atributo foi mais sensível às alterações impostas ao solo, decorrentes do pisoteio dos animais. Segundo Baver et al. (1972), o volume de macroporos é expressivamente diminuído quando aumenta o adensamento causado pela pressão exercida sobre o solo, refletindo num aumento menos acentuado do volume de microporos e numa diminuição também pouco expressiva do volume total de poros. Assim, em termos de porosidade, os macroporos são os primeiros, e mais intensamente, afetados pela pressão mecânica exercida sobre o solo (Bertol et al., 2000).

TABELA 4. Volume total de poros (Pt), microporosidade (Mic) e macroporosidade (Mac), em amostras do solo de diferentes ambientes localizados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Matogrossense, e valores de F dos contrastes de interesse.

Ambiente/ contraste	Pt (m ³ m ⁻³)			Mic (m ³ m ⁻³)			Mac (m ³ m ⁻³)		
	Profundidade (cm)								
	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40
FN1	0,44	0,41	0,40	0,19	0,18	0,18	0,25	0,24	0,22
CE1	0,43	0,43	0,40	0,13	0,12	0,14	0,29	0,32	0,29
CE2	0,43	0,45	0,42	0,13	0,15	0,14	0,30	0,30	0,28
PC27	0,39	0,38	0,36	0,22	0,21	0,16	0,17	0,17	0,20
PC26	0,38	0,37	0,36	0,26	0,21	0,11	0,12	0,16	0,25
PC11	0,39	0,40	0,40	0,25	0,22	0,18	0,14	0,18	0,22
PNpc	0,38	0,39	0,40	0,23	0,17	0,20	0,15	0,21	0,20
PNv3	0,40	0,39	0,38	0,22	0,20	0,16	0,19	0,19	0,22
PNv19	0,43	0,40	0,41	0,22	0,21	0,20	0,21	0,19	0,21
	Valor de F								
FN1 vs PC27	12,20**	2,70*	7,47**	1,12 ^{NS}	1,59 ^{NS}	0,46 ^{NS}	6,95**	5,69*	0,47 ^{NS}
CE1 vs PC26	9,00**	21,60**	7,85**	24,81**	10,95*	0,00 ^{NS}	35,18**	30,02**	1,88 ^{NS}
CE2 vs PC11	9,07**	11,05**	2,47 ^{NS}	23,48**	8,46 ^{NS}	2,58 ^{NS}	33,82**	17,82**	4,81*
PNv3 vs PNpc	2,47 ^{NS}	0,21 ^{NS}	1,67 ^{NS}	0,33 ^{NS}	1,06 ^{NS}	2,77 ^{NS}	1,63 ^{NS}	0,49 ^{NS}	0,76 ^{NS}
PNv19 vs PNpc	13,28**	1,27 ^{NS}	0,68 ^{NS}	0,10 ^{NS}	1,71 ^{NS}	0,00 ^{NS}	4,20*	0,40 ^{NS}	0,21 ^{NS}

FN1: mata semidecídua; CE1: cerradão; CE2: cerradão; PC27, PC26, PC11: pastagem cultivada com 27, 26 e 11 anos de formação, respectivamente, e implantadas em substituição à FN1, CE1, CE2, respectivamente; PNpc, PNv3, PNv19: pastagem nativa com sistema de pastejo contínuo, vedada por 3 anos, e sem pastejo por 19 anos (Reserva ecológica), respectivamente.

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade; *Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{NS} Não significativo.

Embora a pastagem nativa submetida ao sistema de pastejo contínuo (PNv19 x PNpc) também tenha sofrido diminuição tanto na porosidade total como na macroporosidade, a redução na macroporosidade foi expressivamente menor que nos sistemas de pastagem cultivada, evidenciando, talvez, uma possível maior resiliência das pastagens nativas em relação às cultivadas, que apesar de mantidas sob sistema de pastejo contínuo, continuam como campos nativos, ou seja, sem intervenção antrópica severa. Mesmo a microporosidade sendo fortemente influenciada pela textura e pelo conteúdo de carbono orgânico e, muito pouco pelos efeitos do manejo (Giarola et al., 2007; Silva & Kay, 1997), ainda assim, os sistemas de pastagens cultivada (CE1 vs PC26, CE2 vs PC11), destacaram-se com valores significativamente maiores de microporosidade. Nota-se ainda que, de maneira geral, a porosidade total e a macroporosidade correlacionaram com a densidade do solo (Figura 1), ou seja, menores valores de densidade determinaram, de forma altamente significativa, maior volume total de poros, e tendência a maior macroporosidade; o mesmo foi relatado por vários autores (Neves et al., 2007; Bertol et al., 2004; Muller et al., 2001).

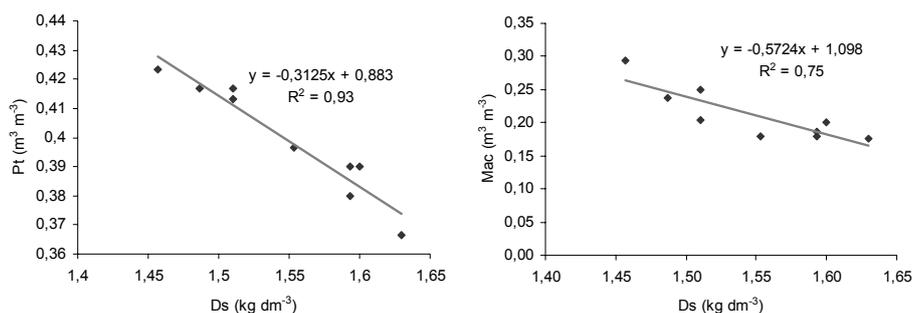


FIGURA 1. Volume total de poros (Pt) e macroporosidade (Mac), em função da densidade do solo em diferentes ambientes localizados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense.

Os menores valores de porosidade total e macroporosidade nos sistemas de pastagens cultivada e nativa podem ser atribuídos às pressões exercidas pelo pisoteio dos animais, assim como o foram para a densidade do solo. Grohmann (1960) afirma que qualquer alteração na estrutura original do solo, seja pelo manejo incorreto durante o uso agrícola, o pisoteio de animais, ou qualquer outra força externa, irá provocar diminuição do espaço poroso, com surgimento de camada compactada. Já os maiores valores nos ambientes naturais (FN1, CE1, FM3, PNv19), está relacionado com o estado natural do solo e com o grande aporte de material orgânico proveniente da vegetação arbórea, no caso da floresta nativa (FN); e no caso do campo natural (PNv19), com a decomposição das raízes da pastagem que ocasiona grande número de macroporos, influenciando na macroporosidade e na porosidade total, especialmente na camada superficial (Bertol et al., 2000). Aliado, principalmente, à ausência de pressão sobre o solo, visto que os ambientes naturais constituem apenas opção de refúgio dos animais no período de cheia (FN) ou encontram-se por longo período sem pastejo (PNv19 – Reserva ecológica). Segundo Andreola et al. (2000), de modo geral, o solo mantido em estado natural, sob vegetação nativa, apresenta características físicas, como permeabilidade, estrutura, densidade e porosidade adequadas ao desenvolvimento normal de plantas, à medida que vai sendo submetido ao uso agrícola, as propriedades físicas sofrem alterações, geralmente desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal.

De acordo com Kiehl (1979), a porosidade total de um solo ideal para o desenvolvimento das plantas deve ser de $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, sendo a distribuição de poros por tamanho representada por 1/3 de macroporos e 2/3 de microporos. Taylor & Ashcroft (1972) ressaltam ainda, que valores de macroporos superiores a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ são necessários para permitir as trocas gasosas e o crescimento das raízes da maioria das culturas. O aumento da macroporosidade na camada superficial do solo, independente do sistema, condiciona melhor difusão de

oxigênio e drenagem da água (Tormena et al., 2002). Embora em todos os ambientes avaliados a macroporosidade tenha sido superior a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e a porosidade total inferior a $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, os resultados sugerem, que nos sistemas de pastagens cultivada e nativa sob pastejo contínuo, as condições são menos favoráveis ao desenvolvimento das plantas, visto que os valores desses atributos foram menores. A distribuição do tamanho dos poros pode fornecer subsídios tanto sobre a capacidade de drenagem e armazenagem de água, quanto sobre a taxa de difusão de oxigênio e calor do solo (Bertol et al., 2004).

A permeabilidade do solo, avaliada através da condutividade hidráulica do solo saturado, foi significativamente reduzida pela conversão da floresta nativa em pastagem cultivada e pelo sistema de pastejo contínuo em pastagem nativa. Sendo que os maiores valores foram observados nos ambientes naturais (FN1, CE1, CE2 e PNv19), variando, aproximadamente, de 383 a 447 mm h^{-1} , 294 a 489 mm h^{-1} , 266 a 366 mm h^{-1} , respectivamente nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-40 cm (Tabela 5), evidenciando uma provável condição de equilíbrio do solo que favorece uma redistribuição de água no perfil de forma mais eficiente. A conversão da floresta nativa em pastagem cultivada (FN1 vs PC27, CE1 vs PC26, CE2 vs PC11) e o sistema de pastejo contínuo em pastagem nativa (PNv19 vs PNpc) determinaram significativa redução na condutividade hidráulica, correspondendo, respectivamente nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, a, aproximadamente, 64 e 46% na pastagem com 27 anos de implantação (PC27); 56 e 70% na pastagem com 26 anos de implantação; 59 e 69% na pastagem com 11 anos de implantação; e 63 e 10% na pastagem nativa sob pastejo contínuo. Portanto, a redução do fluxo de água no solo dos sistemas de pastagens, em comparação com os ambientes naturais, sugere que a restrição à permeabilidade está associada à pressão mecânica exercida no solo pelo pisoteio dos animais. De acordo com Assis & Lanças (2005), a redução nos valores de condutividade hidráulica em solos cultivados em comparação com os de mata

nativa refletiu a redução dos poros de maior diâmetro, os quais são responsáveis pela aeração e pela drenagem da água no perfil do solo (Kiehl, 1979).

TABELA 5. Condutividade hidráulica do solo saturado (Ks), em amostras do solo de diferentes ambientes localizados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Matogrossense, e valores de F dos contrastes de interesse.

Ambiente/ contraste	Ks (mm h ⁻¹)		
	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-40
FN1	447,3	408,7	230,3
CE1	423,3	489,0	239,0
CE2	404,5	482,3	366,7
PC27	161,7	219,7	201,0
PC26	185,3	142,7	218,0
PC11	164,7	147,3	233,0
PNpc	143,0	264,2	187,0
PNv3	269,0	302,5	219,0
PNv19	383,0	293,7	266,0
		Valor de F	
FN1 x PC27	15,14**	6,59*	0,01 ^{NS}
CE1 x PC26	10,37**	22,22**	0,16 ^{NS}
CE2 x PC11	10,98**	20,78**	6,41 ^{NS}
PNv3 x PNpc	5,21 ^{NS}	0,27 ^{NS}	1,00 ^{NS}
PNv19 x PNpc	10,92**	0,16 ^{NS}	1,19 ^{NS}

FN1: mata semidecídua; CE1: cerradão; CE2: cerradão; PC27, PC26, PC11: pastagem cultivada com 27, 26 e 11 anos de formação, respectivamente, e implantadas em substituição à FN1, CE1, CE2, respectivamente; PNpc, PNv3, PNv19: pastagem nativa com sistema de pastejo contínuo, vedada por 3 anos, e sem pastejo por 19 anos (Reserva ecológica), respectivamente.

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade; *Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{NS} Não significativo.

A permeabilidade do solo é influenciada pelo arranjo poroso do solo, que por sua vez está relacionado com a densidade do solo. Nota-se que os ambientes naturais, que apresentaram maiores valores de condutividade hidráulica, estão associados com os menores valores de densidade e maiores de porosidade total e macroporosidade, enquanto os sistemas de pastagens cultivada

e nativa estão associados com maiores valores de densidade e menores de porosidade total e macroporosidade. Dessa forma, os resultados da condutividade hidráulica apresentaram correlação significativa com a densidade do solo e com a macroporosidade (Figura 2), porém a condutividade hidráulica saturada do solo depende não só da distribuição de diâmetro dos poros, como também da geometria, orientação e continuidade desses poros no solo (Marsili et al., 1998). Embora os menores valores de condutividade hidráulica tenham sido constatados nos sistemas de pastagens cultivada e nativa (PC27, PC26, PC11 e PNpc), independentemente da profundidade do solo, os mesmos são classificados, segundo as diferentes classes de permeabilidade adaptadas do Soil Survey Staff (1993), como permeabilidade moderada a rápida (254 a 127 mm h^{-1}), enquanto os valores observados nos agroecossistemas naturais (FN1, CE1, CE2 e PNv19) são classificados como permeabilidade rápida ($> 254 \text{ mm h}^{-1}$).

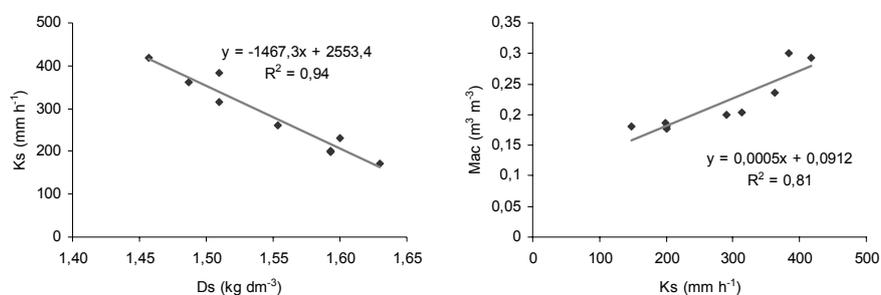


FIGURA 2. Condutividade hidráulica do solo saturado (Ks) em função da densidade do solo (Ds) e macroporosidade (Mac), em diferentes ambientes localizados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense.

Os ambientes naturais, representados pelas florestas nativas (FN1, CE1, CE2) e pela pastagem nativa sem pastejo por 19 anos (PNv19), apresentaram

resistência do solo à penetração semelhante até a profundidade de 40 cm (Figura 3), com valores inferiores a 1,0 MPa, podendo ser classificada, segundo as diferentes classes de resistência à penetração adaptadas do Soil Survey Staff (1993), como baixa. Por outro lado, os sistemas submetidos à ação antrópica, representados pelas pastagens cultivadas (valor médio de PC27, PC26 e PC11) e nativa sob sistema de pastejo contínuo (PNpc), apresentaram os maiores valores de resistência do solo, sendo significativamente superiores aos observados nos ambientes naturais (FN1 vs PC27, CE1 vs PC26, CE2 vs PC11, PNv19 vs PNpc), variando de 1,3 a 1,9 MPa na pastagem cultivada e de 1,1 a 1,5 MPa na pastagem nativa com sistema de pastejo contínuo, podendo ser classificada como resistência moderada.

Os maiores valores de resistência do solo, constados ao longo de todo o perfil nos sistemas de pastagens, evidencia que a compactação não é proveniente apenas do pisoteio, visto que esse efeito se restringe somente à camada superficial do solo. Segundo Araújo et al. (2004), a compactação pode também ser decorrente do ajuste de partículas, consequência do entupimento dos poros pelas partículas mais finas, bem como dos ciclos de umedecimento e secagem do solo. O comportamento da resistência do solo à penetração em todos ambientes avaliados está coerente com os menores valores de densidade que os ambientes naturais tenderam a apresentar em relação aos de pastagem, haja vista que a resistência do solo integra os efeitos da densidade do solo e da umidade, nas condições físicas do solo necessárias para o crescimento radicular (Tormena et al., 2002).

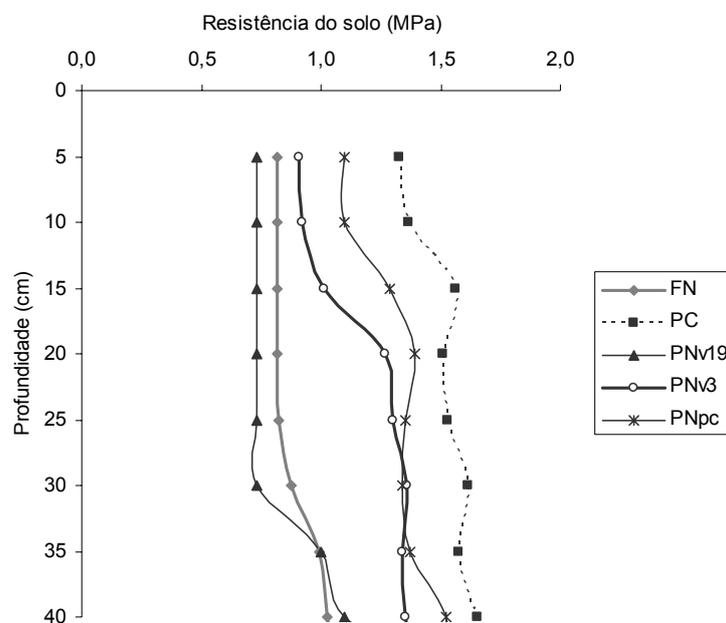


FIGURA 3. Resistência do solo à penetração em diferentes ambientes localizados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense.

Para Grant e Lanfond (1993) o crescimento radicular de culturas anuais sofre restrição em valores de resistência à penetração acima de 1,5 a 3,0 MPa e, para Arshad et al. (1996), acima de 2,0 MPa. Rosolem et al. (1994), trabalhando em Latossolo arenoso, relatam restrições a partir de valores de resistência de 0,75 MPa. Alvarenga et al. (1996), estudando leguminosas em Latossolo argiloso, verificaram restrições ao desenvolvimento radicular a partir de 1,49 MPa. Já Camargo & Alleoni (1997) propõem o valor de 1,10 MPa como nível crítico. Goedert et al. (2002), avaliando o estado de compactação em áreas de lavoura de soja e milho, encontraram valores entre 0,7 e 1,3 MPa, concluindo que, dentro desses limites, não foi observado efeito negativo na produção.

Portanto, os valores de resistência do solo, que restringem o crescimento radicular variam de acordo com a planta. Ainda que os valores observados nos sistemas de pastagens cultivada (PC) e nativa (PNpc), da ordem de 1,3 a 1,5 MPa e 1,1 a 1,4 MPa, respectivamente, até a profundidade de 0-20 cm, não sejam classificados como restritivos, os mesmos, assim como os demais atributos físicos, evidenciam haver estreita relação com o uso do solo, ou seja, tendência à ligeira degradação dos mesmos decorrente do pisoteio dos animais.

6 Conclusões

Os atributos físicos analisados foram sensíveis ao refletirem a redução da qualidade do solo decorrente da substituição da floresta nativa por pastagem cultivada e pelo sistema de pastejo contínuo em pastagem nativa, quando comparada com a mesma sem pastejo por 19 anos.

De modo geral, nos sistemas de pastagens cultivada e nativa com sistema de pastejo contínuo, a densidade do solo e a resistência do solo à penetração aumentaram e a porosidade total, a macroporosidade e a condutividade hidráulica do solo saturado diminuíram, porém não o suficiente para enquadrarem-se em classes que indiquem restrições ao desenvolvimento das plantas.

7 Referências Bibliográficas

ALVARENGA, R.C.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A.J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.20, p.319-326, 1996.

ANDREOLA, F.; COSTA, L.M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades

físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, p.857-865, 2000.

ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; VIZZOTO, V.T.; LEITE, G.B.; KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.18, p.139-145, 1994.

ARAÚJO, E.A.; LANI, J.L.; AMARAL, E.F. & GUERRA, A. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de Argissolo Amarelo distrófico na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p.307-315, mar./abr. 2004.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, R. Physical Test for Monitoring Soil Quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. (SSSA Special Publication, 49).

ASSIS, R.L. LANÇAS, K.P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 4, p.515-522, jul.ago. 2005.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. Soil structure: evaluation and agricultural significance. In: BAVAR, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. (Ed.). **Soil physics**. 4. ed. New York: J. Wiley, 1972. p.178-223.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JÚNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas à do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.28, n. 1, p.155-163, jan./fev. 2004.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J.A.; ALMEIDA, E.X.; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-elefante-anão CV. Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.5, p.1047-1054, maio 2000.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density, In: KLUTE, A., (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986a. v.1, p.363-375.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density, In: KLUTE, A., (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986b. v.1, p.377-382.

CADAVID GARCIA, E.A. **Estudo técnico-econômico da pecuária de corte do Pantanal Mato-Grossense**. Corumbá: EMBRAPA-CPAP, 1986. p.126-127. (EMBRAPA-CPAP. Documentos, 4).

CAMARGO, O.A. de; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Esalq, 1997. 132p.

CARVALHO, S.R. **Influência de dois sistemas de manejo de pastagens na compactação de uma Terra Roxa Estruturada**. 1976. 89 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade de São Paulo/Escola Superior Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CAVENAGE, A.; MORES, K.L.T.; ALVES, M.C.; CARVALHO, M.A.C.; FREITAS, M.L.M.; BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distrófico típico sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.23, p.997-1003, 1999.

CORREIA, M.E.F. Fauna do solo, microrganismos e matéria orgânica como componentes da qualidade do solo em sistema de pastejo intensivo. In: PEIXOTO, A.M.; MORA, J.C.; FARIA, V.P. Fundamentos do pastejo rotacionado. SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 14., 1999, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1999. p.39-53.

CRUZ, A.C.R.; PAULETO, E.A.; FLORES, C.A.; SILVA, J.B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.27, n. 6, p.1105-1112, nov./dez. 2003.

DANIELSON, R.E.; SUTHERLAND, P.L. Porosity. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v.1, p.443-461.

DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C.A. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v.1, p.545-566.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.3-21. (SSSA Special Publication, 35).

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do SISVAR (Sistema par análise de variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO DA BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., São Carlos, 2000. **Anais...** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2000. p.255-258.

GIAROLA, N.F.B.; TORMENA, C.A.; DUTRA, A.C. Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p.863-873, set./out. 2007.

GOEDERT, W.J.; SCHERMACK, M.J.; FREITAS, F.C. de. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n. 2, p.223-227, fev. 2002.

GRANT, C.A.; LANFOND, G.O. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clayey soil in Southern Saskatchewan. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.73, p.223-232, 1993.

GROHMANN, F. Distribuição do tamanho de poros em três tipos de solo do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.19, n.21, p.319-328, 1960.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; TORMANA, C.A. Aplicações de curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.7, p.1493-1500, jul. 2000.

JUNK, W.J.; SILVA, C.J. O conceito do pulso de inundação e suas implicações para o Pantanal de Mato Grosso. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS, 2., 1996, Corumbá. **Anais...** Manejo e Conservação. Corumbá: Embrapa Pantanal, 1999. p.17-28.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia**. São Paulo: Agrônomo Ceres, 1979. 264p.

KONDO, M.K.; DIAS JUNIOR, M.S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 211-218, 1999.

LIMA, J.M.; CURTI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D.P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.14, n.1, p.85-90, jan./abr. 1990.

MARSILI, A.; SERVADIO, P.; PAGLIAI, M.; VIGNOZZI, N. Changes of some physical properties of a clay soil following passage of rubber-and metal-tracked tractors. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 49, p. 185-199, Dec. 1998.

MULLER, M.M.L.; GUIMARÃES, M.F.; DESIARDINS, T.; MARTINS, P.F.S. Degradação de pastagens na região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.36, n.11, p.1409-1418, nov. 2001.

NEVES, C.M.N.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; CARDOSO, E.L.; MACEDO, R.L.G.; FERREIRA, M.M.; SOUZA, F.S. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 74, p. 45-53, jun. 2007.

OLIVEIRA, L. B. de. Determinação da macro e microporosidade pela mesa de tensão em amostras de solo com estrutura indeformada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 3, p. 197-200, jan./fev. 1968.

OLIVEIRA, T.S.; COSTA, L.M.; FIGUEIREDO, M.S.; REGAZZI, A.J. Efeitos dos ciclos de umedecimento e secagem sobre a estabilidade de agregados em água de quatro Latossolos Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 20, p. 509-515. 1996.

PROFFITT, A.P.B.; BENDOTTI, S.; HOWELL, M.R.; EASTHAM, J. The effect of sheep trampling and grazing on soil physical properties and pasture growth for a Red-Brown earth. **Australian Journal of Agriculture Research**, Melbourne, v.44, n.2, p.317-331, 1993.

ROSOLEM, C.A.; ALMEIDA, A.C.S.; SACRAMENTO, L.V.S. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, Campinas, v.53, p.259-266, 1994.

SILVA, A.P.; KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 61, p.877-883, 1997.

SILVA, J.S.V.; ABDON, M.M.; SILVA, M.P.; ROMERO, H.R. Levantamento do desmatamento no Pantanal brasileiro até 1990/91. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n. 10, p.1739-1745, 1998. Especial.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington: USDA-SCS, 1993.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.28, n. 3, p.533-542, maio/jun. 2004.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p.229-235, 1991.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V.L. **Recomendação para uso do penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar – Stolf**. São Paulo: MIC/IAA/PNMCA – Planalsucar, 1983, 8p. (Série penetrômetro de impacto – Boletim, n. 1).

TAYLOR, S.A.; ASHCROFT, G.L. **Physical edaphology – the physics of irrigated on nonirrigated soils**. San Francisco: W.H. Freeman, 1972. 532p.

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C.; COSTA, A.C.S.; GONÇALVES, C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, p.795-801, dez. 2002.

TORMENA, C.A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.28, n. 6, p.1023-1031, nov./dez. 2004.

WILLATT, S.T.; PULLAR, D.M. Changes in soil physical properties under grazed pastures. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.22, n.4, p.343-348, 1983.

CAPÍTULO 5

**Indicadores da qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e
nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense**

III – Atributos biológicos

1 Resumo

CARDOSO, Evaldo Luis. Indicadores da qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense. III – Atributos biológicos. In: _____. **Qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense**. 2008. Cap. 5, p. 104-124. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.¹

O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações em atributos biológicos do solo promovidos pela substituição da floresta nativa por pastagem cultivada e pelo sistema de pastejo contínuo em pastagem nativa no Pantanal. O trabalho consistiu na avaliação de ambientes de florestas nativas, pastagens de *Brachiaria decumbens*, implantadas em substituição às florestas nativas e com diferentes idades de formação e pastagens nativas sob sistema de pastejo contínuo, vedada por 3 anos e sem pastejo por 19 anos (Reserva ecológica). Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, com três repetições. Os atributos avaliados foram: matéria orgânica do solo (MOS), carbono microbiano (Cmic), quociente microbiano ($qMIC$), respiração basal (RB) e quociente metabólico (qCO_2). A substituição da floresta nativa por pastagem cultivada promoveu redução nos teores de MOS, Cmic e $qMIC$ e elevação da RB e qCO_2 . Já o sistema de pastejo contínuo em pastagem nativa promoveu redução nos teores de MOS e no Cmic, quando comparada com a Reserva ecológica, não diferindo da pastagem vedada por 3 anos. O Cmic é o atributo mais sensível às alterações impostas ao solo pelos sistemas de pastagens cultivada e nativa, pois foi marcado por reduções mais expressivas.

Termos para indexação: Carbono microbiano, atividade microbiana, respiração basal, quociente metabólico, quociente microbiano.

¹ Orientador: Prof. Marx Leandro Naves Silva (UFLA/DCS)

2 Abstract

CARDOSO, Evaldo Luis. Soil quality indicators in cultivated and native pastures systems in the Nhecolândia sub-region, south Pantanal Wetlands. III – Biological attributes. In: _____. **Soil quality of cultivated and native pastures systems in the Nhecolandia sub-region, South Pantanal Wetlands.** 2008. Chap. 5, p. 104-124. Thesis (Doctorate in Soil Science) – Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil.¹

The objective of this work was to evaluate the alterations in biological attributes of soil promoted by replacement of the native forest by cultivated pasture and by the continuous grazing system on native pasture in the Pantanal Wetlands. The work consisted of the evaluation of native forest environments, *Brachiaria decumbens* pastures of different formation ages established in replacement of the native forests and native pasture under continuous grazing, without grazing for 3 years and without any grazing for 19 years (ecological reserve). Soil samples were collected at the depths of 0-10, 10-20 and 20-40 cm with three replications. The attributes evaluated were: soil organic matter (SOM), soil microbial carbon (Cmic), microbial quotient (*q*MIC), basal respiration (BR) and metabolic quotient (*q*CO₂). The replacement of the native forest by cultivated pasture promoted reduced contents of SOM, Cmic and *q*MIC and an increase of BR and *q*CO₂. But, the continuous grazing system on native pasture promoted a reduction in the SOM and Cmic contents, as compared with the ecological reserve, not differing from the cultivated pasture without grazing for 3 years. Cmic is the attribute most sensitive to the alterations imposed on soil by the cultivated and native pastures systems, since it was marked by more substantial reductions.

Index terms: Microbial biomass carbon, microbial activity, basal respiration, metabolic quotient, microbial quotient.

¹ Adviser: Prof. Marx Leandro Naves Silva (UFLA/DCS)

3 Introdução

Reconhecido como uma das maiores extensões úmidas contínuas do planeta, com cerca de 140.000 km², o Pantanal vem sendo ocupado há mais de 200 anos com a criação extensiva de bovinos de corte, a qual se constitui na principal atividade econômica da região. Desenvolvida no sistema tradicional de produção, essa pecuária de corte baseia-se principalmente na cria e recria, cujos índices zootécnicos são relativamente baixos, decorrentes principalmente da estacionalidade das pastagens nativas, base da alimentação dos bovinos. Diante da globalização e mercados competitivos, a busca por aumento de produtividade tem se intensificado em todas as regiões do país que criam bovinos exclusivamente a pasto, e no Pantanal não é diferente.

A busca por aumentos de produtividade e maior competitividade da pecuária pantaneira tem levado ao desmatamento das fisionomias arbóreas, não inundáveis ou parcialmente inundáveis, para implantação de pastagem cultivada (Junk & Silva, 1999; Silva et al., 1998). Nesse ecossistema, marcado pela elevada fragilidade ambiental e reconhecido como de grande importância para a manutenção da biodiversidade, qualquer atividade produtiva deve, necessariamente, assegurar a sustentabilidade de todo o sistema ecológico, garantindo, ao longo do tempo, níveis aceitáveis de produtividade biológica e econômica, sem, no entanto, comprometer a conservação do ambiente.

Na medida em que o uso intensivo e o manejo inadequado do solo podem redundar na diminuição de sua capacidade em manter uma produção biológica sustentável, nas últimas décadas a preocupação com a avaliação da qualidade do solo tem merecido destacada atenção (Carvalho et al., 2004). As propriedades físicas e químicas do solo e seus efeitos no crescimento das plantas têm sido amplamente investigados, no entanto, apesar do crescente interesse em aspectos relacionados ao funcionamento biológico do solo sob sistemas naturais

e agrícolas, são ainda recentes os estudos sobre o impacto de diferentes sistemas de manejo na biomassa e atividade microbiana dos solos (Matsuoka et al., 2003). Entretanto, como a microbiota do solo é a principal responsável pela decomposição dos compostos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia do solo, a biomassa microbiana e sua atividade têm sido apontadas como os atributos mais sensíveis às alterações na qualidade do solo.

Composta por bactérias, fungos e representantes da microfauna, a biomassa microbiana do solo representa a parte viva da matéria orgânica do solo, contendo, em média, 2 a 5% do carbono orgânico, 1 a 5% do nitrogênio orgânico e 2 a 20% do fósforo orgânico nos solos tropicais (Smith & Paul, 1990). Desempenha ainda, fundamental papel na transformação da matéria orgânica nos ciclos globais e no fluxo de energia, interagindo com as partículas do solo e participando de processos biológicos e bioquímicos essenciais para garantir a sustentação dos ecossistemas (Turco et al., 1994). Segundo Gama-Rodrigues et al. (2005), a biomassa microbiana apresenta rápida ciclagem, responde intensamente a flutuações sazonais de umidade e temperatura, ao cultivo e ao manejo de resíduos. Rice et al. (1996) ressaltam que o carbono contido na biomassa microbiana é o destino inicial do carbono em transformação no solo e funciona como energia armazenada para processos microbianos e, por apresentar respostas rápidas a alterações no solo, pode ser utilizado como indicador precoce de alterações na matéria orgânica.

A atividade heterotrófica da biomassa, representada pela respiração do solo, é um indicador sensível da decomposição de resíduos, do giro metabólico do carbono orgânico do solo e de distúrbios no ecossistema (Paul et al., 1999). A respiração basal pode ser avaliada pela produção de $C-CO_2$, sendo a quantidade de carbono liberado indicativa do C lábil ou prontamente metabolizável do solo (Gama-Rodrigues et al., 2005). Entretanto, a interpretação dos resultados da atividade biológica deve ser realizada com cautela, uma vez que elevados

valores de respiração nem sempre indicam condições desejáveis, ou seja, uma alta taxa de respiração pode significar, em curto prazo, liberação de nutrientes para as plantas e, em longo prazo, perda de carbono orgânico do solo para a atmosfera (Parkin et al., 1996). Por sua vez, a determinação do quociente metabólico (qCO_2), que expressa a relação entre a quantidade de CO_2 produzido por unidade de carbono da biomassa microbiana e por unidade de tempo, permite a identificação dos solos que contêm biomassa mais eficiente na utilização de carbono/energia (menor qCO_2), os quais refletem ambientes com menor grau de distúrbio ou estresse (Anderson & Domsch, 1993).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações na matéria orgânica, biomassa e atividade microbiana do solo promovidas pela conversão da floresta nativa em pastagem cultivada e pelo sistema de pastejo contínuo em pastagem nativa, na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense.

4 Material e Métodos

O estudo foi realizado em duas fazendas localizadas na sub-região da Nhecolândia, cujo clima é tropical sub-úmido (Aw, Köppen), com temperatura média anual de 26 °C e precipitação média de 800 a 1.200 mm (Cadavid Garcia, 1986). As áreas de estudo consistiram de ambientes de florestas nativas; pastagens cultivadas implantadas em substituição às florestas nativas; pastagens nativas submetida ao sistema de pastejo contínuo e sem pastejo por 3 e 19 anos, conforme detalhadas na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição e caracterização dos ambientes de estudo localizados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense.

Ambiente de estudo	Caracterização
FN1	Mata semidecídua – ocorrência de 24 diferentes espécies com altura média de 12,4 m e diâmetro médio de 27,0 cm; destacando-se como espécies mais abundantes: <i>Attalea phalerata</i> , <i>Rhamnidium elaeocarpum</i> , <i>Astronium fraxinifolium</i> (Salis, 2004). Localização: 18°34'57" S e 55°50'52" WGr.
PC27	Pastagem cultivada* - <i>Brachiaria decumbens</i> implantada em substituição à FN1, em área adjacente à mesma, com 27 anos de formação.
CE1	Cerradão - ocorrência de 30 diferentes espécies com altura média de 11,7 m e diâmetro médio de 15,8 cm; destacando-se como espécies mais abundantes: <i>Qualea grandiflora</i> , <i>Caryocar brasiliense</i> , <i>Lafoensia pacar</i> (Salis, 2004). Localização: 18°33'11" S e 55°48'41" WGr.
PC26	Pastagem cultivada* - <i>Brachiaria decumbens</i> implantada em substituição à CE1, em área adjacente à mesma, com 26 anos de formação.
CE2	Cerradão - ocorrência de 43 diferentes espécies com altura média de 7,5 m e diâmetro médio de 12,4 cm; destacando-se como espécies mais abundantes: <i>Alibertia sessili</i> , <i>Protium heptaphyllum</i> , <i>Zanthoxylum rigidum</i> (Salis, 2004). Localização: 18°59'57" S e 56°38'10" WGr.
PC11	Pastagem cultivada* - <i>Brachiaria decumbens</i> implantada em substituição à CE2, em área adjacente à mesma, com 11 anos de formação.
PNpc	Pastagem nativa - com predominância de <i>Axonopus purpusii</i> e <i>Mesosetum chaseae</i> e submetida ao sistema de pastejo contínuo. Localização: 18°59'25" S e 56°38'43" WGr
PNv3	Pastagem nativa - com predominância de <i>Axonopus purpusii</i> e <i>Mesosetum chaseae</i> e vedada por 3 anos, área adjacente e contígua à PNpc. Localização: 18°59'57" S e 56°38'01" WGr
PNv19	Pastagem nativa - com predominância de <i>Mesosetum chaseae</i> e sem pastejo por 19 anos, área de Reserva ecológica localizada na fazenda Nhumirim. Localização: 18°58'42" S e 56°37'00" WGr

*As pastagens cultivadas foram implantadas após a derrubada e queima da floresta nativa, não havendo qualquer tipo de correção ou adubação do solo.

Para a caracterização da quantidade e qualidade da serapilheira nos ambientes de floresta nativa, foram coletadas amostras constituídas basicamente por folhas e ramos mais fragmentados, realizadas por meio de quinze amostragens em cada floresta nativa, com molduras de 0,25 m². As amostras

foram secas em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 60 °C, moídas e submetidas à análise química. Os teores de N foram determinados por micro Kjeldahl, segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). No extrato, obtido por digestão nitroperclórica, foram determinados os teores totais de P, por colorimetria; K, por fotometria de chama; e Ca e Mg, por espectrofotometria de absorção atômica (Malavolta et al., 1997), cujos resultados constam da Tabela 2.

TABELA 2. Teor de nutrientes na serapilheira de diferentes ambientes de floresta nativa localizadas na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Matogrossense.

Floresta	Peso seco	C	N	P	K	Ca	Mg
	g m ⁻²	.....g kg ⁻¹					
FN1	1290	484	24	1,29	0,80	17,20	3,12
CE1	1212	479	14	0,83	0,01	7,79	1,99
CE2	1084	488	16	0,75	1,20	7,36	2,09

FN1: mata semidecídua; CE1: cerradão; CE2: cerradão.

C: carbono; N: nitrogênio; P: fósforo; K; potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio.

Em outubro de 2006, início do período chuvoso, a partir de transectos realizados em cada ambiente de estudo, foram abertas minitrincheiras para coleta de amostras de solo (compostas de 5 subamostras), nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, com três repetições. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, protegidas da luz e mantidas em caixas térmicas até a chegada ao laboratório. Foram peneiradas (2 mm) e a umidade, ajustada para 50 a 60% da capacidade de campo, sendo acondicionadas em sacos plásticos com suspiros e mantidas sob refrigeração (4 °C), até a realização das análises.

O carbono da biomassa microbiana (Cmic) foi avaliado pelo método da fumigação-extração (Vance et al., 1987), sendo determinado após o ataque das amostras com clorofórmio, que provoca morte dos microrganismos e liberação dos componentes celulares. O quociente microbiano ($qMIC$), ou relação Cmic/COT, foi calculado de acordo com Sparling (1992). A respiração basal (RB) foi determinada pelo CO_2 evoluído a partir de 20 g de solo incubado durante 72 h, com extração através de solução de NaOH 0,05 mol L⁻¹ e titulação com HCl 0,05 mol L⁻¹ (Isermeyer, 1952, citado por Alef & Nannipieri, 1955). O quociente metabólico (qCO_2) foi calculado pela razão entre a respiração basal e o Cmic (Anderson & Domsch, 1993), sendo expresso em $\mu g CO_2 \mu g Cmic^{-1} dia^{-1}$. Todas as amostras foram analisadas em triplicadas.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com estrutura em faixas, devido às profundidades de amostragem. A análise de variância foi realizada utilizando-se os procedimentos do SISVAR (Ferreira, 2000). As comparações para verificação do efeito da conversão da floresta nativa em pastagem cultivada e do sistema de pastejo contínuo em pastagem nativa, em relação à mesma sem pastejo por 3 e 19 anos, foram realizadas por meio de contrastes ortogonais, a partir do desdobramento dos oito graus de liberdade dos ambientes de estudo. A significância dos contrastes de interesse, com um grau de liberdade, foi testada pelo teste F, a pelo menos 5% de probabilidade, levando-se em conta o quadrado médio do resíduo obtido pela análise de variância.

5 Resultados e Discussão

Os resultados apresentados na Tabela 3 revelam que os teores de matéria orgânica do solo (MOS) e o carbono microbiano (Cmic) apresentaram comportamento semelhante e foram significativamente alterados pelos sistemas

de pastagens cultivada e nativa, notadamente na camada superficial, onde é mais intensa a atividade da microbiota do solo sobre a decomposição e mineralização da matéria orgânica. A substituição da floresta nativa por pastagem cultivada (FN1 vs PC27, CE1 vs PC26, CE2 vs PC11) promoveu redução significativa nos teores de MOS e nos valores de C_{mic} , correspondendo, respectivamente, a 32 e 42% na pastagem com 27 de formação (PC27), 45 e 53% na pastagem com 26 de formação (PC26) e 46 e 42% na pastagem com 11 de formação (PC11). A diversidade florística dos ambientes nativos e a presença de vegetação durante todo o ano influenciam a produção e a qualidade da serapilheira (Matsuoka et al., 2003). Por sua vez, o acúmulo de matéria orgânica e de nutrientes favorece o crescimento e a atividade microbiana e, de acordo com Stenberg (1999), a maior quantidade de carbono da biomassa microbiana reflete a presença de maior quantidade de matéria orgânica ativa no solo, capaz de manter elevada taxa de decomposição de restos vegetais e, portanto, de reciclar mais nutrientes.

A quantidade de matéria orgânica presente no solo é regulada pela taxa de produção primária de material orgânico, pela distribuição dos fotoassimilados entre parte aérea e raízes e pela velocidade de decomposição dos compostos orgânicos (Batjes, 1996). Portanto, o valor de C_{mic} mais elevado em solos sob vegetação nativa, em relação à sistemas de pastagem cultivada, pode ser reflexo de uma condição favorável à microbiota do solo, que é estimulada pelo fornecimento contínuo de materiais orgânicos com diferentes graus de susceptibilidade à decomposição, provenientes de uma vegetação com maior diversidade de espécies (D'Andréa et al., 2002). Ambientes de floresta nativa, notadamente aqueles estabelecidos em solos de baixa fertilidade natural, têm sua manutenção fortemente associada ao equilíbrio entre a cobertura vegetal e os processos biogeoquímicos do solo decorrentes. Dessa forma, com a remoção da floresta esse equilíbrio pode ser quebrado, alterando a qualidade e quantidade de matéria orgânica do solo (Malavolta, 1987).

TABELA 3. Matéria orgânica do solo (MOS), carbono microbiano (Cmic) e quociente microbiano (*q*MIC), em amostras do solo de diferentes ambientes localizados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Matogrossense, e valores de F dos contrastes de interesse.

Ambiente/ contraste	MOS (g kg ⁻¹)			Cmic (µg g ⁻¹)			<i>q</i> MIC (%)		
	Profundidade (cm)								
	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40
FN1	22	16	12	486	320	173	3,2	2,9	2,8
CE1	17	6	3	339	89	61	3,1	2,7	2,1
CE2	16	5,7	4,7	184	84	63	2,5	2,2	2,6
PC27	15	12	7	280	154	84	2,4	2,1	1,6
PC26	9,3	3,7	2,7	159	56	49	2,4	2,1	1,7
PC11	8,7	4,3	4	106	92	78	1,7	2,1	2,1
PNpc	4,7	4	2,7	90	68	56	1,9	2,3	2,4
PNv3	6	4	3,7	104	84	63	2,3	2,8	2,7
PNv19	9,3	4,3	3,3	184	98	63	2,2	2,4	1,5
	Valor de F								
FN1 vs PC27	18,78**	5,01*	9,58**	47,36**	29,99**	8,89**	4,81*	2,36 ^{NS}	5,75*
CE1 vs PC26	26,62**	2,03 ^{NS}	0,04 ^{NS}	36,28**	1,23 ^{NS}	0,17 ^{NS}	3,44*	1,28 ^{NS}	0,30 ^{NS}
CE2 vs PC11	26,61**	0,66 ^{NS}	0,17 ^{NS}	6,68*	0,07 ^{NS}	0,25 ^{NS}	2,96*	0,02 ^{NS}	0,96 ^{NS}
PNv3 vs PNpc	0,68 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,22 ^{NS}	0,26 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,57 ^{NS}	2,35 ^{NS}	0,27 ^{NS}
PNv19 vs PNpc	65,64**	0,04 ^{NS}	0,04 ^{NS}	4,30*	0,94 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,79 ^{NS}	2,89 ^{NS}

FN1: mata semidecídua; CE1: cerradão; CE2: cerradão; PC27, PC26, PC11: pastagem cultivada com 27, 26 e 11 anos de formação, respectivamente, e implantadas em substituição à FN1, CE1, CE2, respectivamente; PNpc, PNv3, PNv19: pastagem nativa com sistema de pastejo contínuo, vedada por 3 anos, e sem pastejo por 19 anos (Reserva ecológica), respectivamente.

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade; *Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{NS} Não significativo.

Estudando os efeitos da sucessão floresta primária e área de cultivo na qualidade do solo, Cerri et al. (1985) verificaram a ocorrência de uma dispersão do carbono proveniente da serapilheira, que favoreceu a microbiota do solo. Segundo Matsuoka et al. (2003), o desmatamento acarreta modificações nas características químicas, físicas e biológicas do solo, provocando considerável inibição da biomassa microbiana. A influência da qualidade e quantidade de matéria orgânica do solo sobre a biomassa microbiana pode ser comprovada pela sua correlação linear e positiva, ou seja, o aumento do carbono da biomassa microbiana esteve associado com os maiores teores de matéria orgânica (Figura 1). Moreira & Costa (2004) relataram correlação linear significativa e positiva entre a biomassa microbiana e teores de matéria orgânica no solo, em reflorestamento de clareiras na Amazônia. Biomassa microbiana maior implica maior imobilização temporária de carbono, nitrogênio e nutrientes e, conseqüentemente, menor perda de nutrientes do sistema solo-planta (Colozzi Filho et al., 1999).

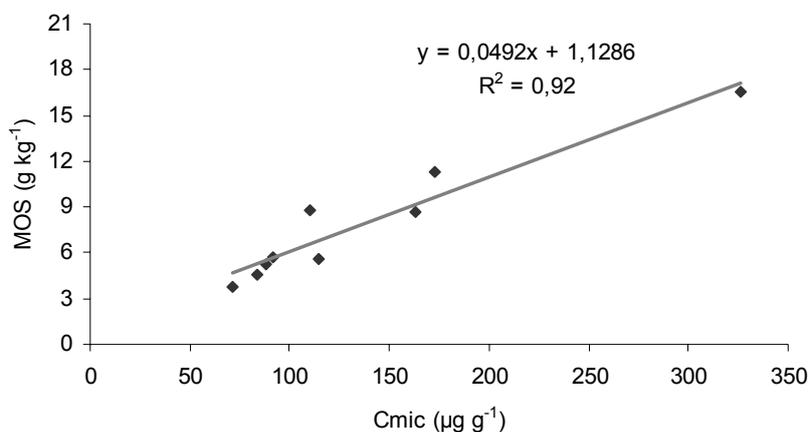


FIGURA 1. Carbono microbiano (Cmic) em função da matéria orgânica do solo (MOS), em amostras do solo de diferentes ambientes localizados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense.

O teor de MOS e o valor de Cmic observado no sistema PC27, superior aos demais sistemas de pastagem e próximo aos constatados até mesmo nas demais florestas (CE1 e CE2), notadamente na profundidade de 0-10 cm, sugerem que as condições remanescentes da mata semidecídua (FN1) podem ainda estar prevalecendo na área de pastagem, mesmo após 27 anos de implantação da pastagem. Tal indicativo é reforçado pelo elevado e variado aporte de resíduos orgânicos no solo proporcionados pelo agroecossistema FN1, o qual é o ambiente original onde foi implantado o sistema PC27, cuja serapilheira foi superior às demais florestas (CE1 e CE2), tanto em quantidade como em teor de nutrientes no material (Tabela 2). Cerri et al. (1996), avaliando a dinâmica de carbono em solos da Amazônia, observaram que, mesmo após 8 anos do desmatamento e implantação da pastagem, ainda havia 50% do carbono do solo proveniente da mata original, demonstrando que grande parte da matéria orgânica da floresta, dependendo do tipo de manejo adotado, permanece sob forma estável. Da mesma forma, Costa (2005) estudando solo de tabuleiro no sul da Bahia, relatou que, mesmo após 28 anos de implantação de pastagem, foram observados valores médios de 55, 76 e 79% de carbono derivado da mata original, nas profundidades de 5, 15 e 30 cm, respectivamente.

Em relação às pastagens nativas foram constatadas alterações significativas nos teores de MOS e nos valores de Cmic, quando comparadas à pastagem nativa com sistema de pastejo contínuo e a mesma sem pastejo por 19 anos (PNv19 vs PNpc), cujas reduções, na profundidade de 0-10 cm, corresponderam, respectivamente, a 49 e 51%, não havendo diferença entre a pastagem nativa vedada por 3 anos e a mesma com pastejo contínuo (PNv3 vs PNpc). Esses resultados sugerem que, dada a textura arenosa e a baixa fertilidade natural desses solos, o período de 3 anos de descanso da pastagem não foi suficiente para elevação da MOS e melhoria das condições para a microbiota do solo. Ressalta-se ainda, que como as pastagens nativas do

Pantanal são submetidas à freqüente desfolha, determinada pela pressão de pastejo a que são imposta, tais resultados refletem também a baixa capacidade de aporte de material orgânico dessas áreas, caracterizando-se em ambientes marcados apenas pela extração de biomassa do sistema e, basicamente, sem nenhuma reposição.

Segundo Carvalho (2005), não se pode esperar que um ecossistema que tenha sofrido algum tipo de interferência antrópica apresente o mesmo desempenho de um ecossistema natural, na decomposição dos resíduos vegetais, na reciclagem de nutrientes, na conservação da água e no fluxo de gases. Contudo, contrariamente a esses resultados, Garcia & Nahas (2007), estudando biomassa e atividade microbiana em pastagens com ovinos, observaram em pastagens com baixa lotação, valor superior de carbono microbiano em relação às pastagens com alta lotação e sem pastejo, sendo tal resultado atribuído, possivelmente, à excreção dos animais. O mesmo efeito foi relatado por Ghani et al. (2003), comparando solos com e sem pastejo animal e por Saviozzi et al. (2002), que verificaram em solos da Itália sob pastagem, maior porcentagem de Cmic que nos solos sob floresta e cultivo agrícola.

O uso sustentável dos solos agrícolas requer a manutenção de suas propriedades dentro de níveis de variação que permitam sua restauração sem afetar a produtividade e o meio ambiente (Colozzi Filho et al., 1999). Alterações na quantidade e na qualidade da matéria orgânica dos solos, promovidas pelo cultivo, podem ter impacto em todas as propriedades do solo e influenciar a disponibilidade de nutrientes e a atividade microbiana (Karlen et al., 1994). Entretanto, mudanças graduais e pequenas na matéria orgânica do solo podem ser difíceis de monitorar e detectar no curto prazo (Sparling, 1992). Nota-se que as reduções nos valores de Cmic foram mais acentuadas que as reduções nos teores de MOS, tanto pela substituição da floresta nativa por pastagem cultivada como pelo sistema de pastejo contínuo em pastagem nativa, quando comparada

com a mesma sem pastejo por 19 anos. Esses resultados indicam que o C_{mic} , que representa a parte viva e mais ativa da matéria orgânica do solo, é mais sensível à remoção da cobertura vegetal nativa que a parte não viva da matéria orgânica, razão pela qual é apontado por vários autores como um indicador de qualidade do solo (Matsuoka et al., 2003). Portanto, avaliações da biomassa microbiana e sua atividade podem revelar mudanças no conteúdo de matéria orgânica do solo antes que elas possam ser detectadas na matéria orgânica total, possibilitando a adoção de medidas corretivas antes que a perda de qualidade do solo seja mais severa (Tótola & Chaer, 2002).

O quociente microbiano ($qMIC$), relação que expressa quanto do carbono orgânico do solo está imobilizado na biomassa microbiana, revelou que a menor eficiência dos microrganismos na imobilização do carbono foi constatada nos sistemas de pastagens, notadamente na camada superficial (Tabela 3). A conversão da floresta em pastagem cultivada (FN1 vs PC27, CE1 vs PC26, CE2 vs PC11) promoveu reduções no $qMIC$, na profundidade de 0-10 cm, que corresponderam, aproximadamente, a 25% na pastagem com 27 de formação (PC27); 22% na pastagem com 26 de formação (PC26) e 32% na pastagem com 11 de formação (PC11).

De acordo com Anderson & Domsch (1989), o $qMIC$ pode variar de 0,27 a 7,0%, dependendo de diferenças de tipo de solo e manejo, da cobertura vegetal, bem como da época amostrada e condições analíticas dos métodos empregados. Alguns autores sugerem que os valores de $qMIC$ que expressam uma condição de equilíbrio poderiam ser de 2,3 para monoculturas e 4,4 para rotação de culturas (Anderson & Domsch, 1989), de forma que em solos nos quais esses valores são maiores ou menores estaria ocorrendo, respectivamente, acúmulo ou perdas de carbono (Colozzi Filho et al., 1999). Contudo, segundo Sparling (1992), mudanças no $qMIC$ podem refletir os acréscimos de matéria orgânica ao solo, a eficiência de conversão do carbono orgânico para biomassa

microbiana, as perdas de carbono do solo e a estabilização do carbono orgânico pela fração mineral do solo. Porém, para saber quando o q_{MIC} indica uma condição de equilíbrio ou ainda uma fase de degradação ou recuperação, é necessário estabelecer um valor base para cada situação particular, sendo aparentemente pouco extrapoláveis para condições distintas.

De acordo com Wardle (1994), em circunstâncias em que a biomassa microbiana encontra-se sob algum fator de estresse (deficiência de nutriente, acidez, etc.), a capacidade de utilização do carbono é diminuída, sendo expressa por um baixo q_{MIC} . Ao contrário, com a adição de matéria orgânica de boa qualidade ou com a mudança do fator limitante para uma condição favorável, a biomassa microbiana pode aumentar rapidamente (maior q_{MIC}), mesmo se os teores de carbono permanecerem inalterados (Tótola & Chaer, 2002). Portanto, os menores resultados observados no solo dos sistemas de pastagem cultivada, sugerem que as reduções no q_{MIC} tenham sido influenciadas, tanto por uma provável condição de estresse para a população microbiana (deficiência de nutrientes, maior variação em temperatura e umidade do solo, decorrentes da menor cobertura vegetal) como, principalmente, pela redução nos teores de matéria orgânica do solo.

Em relação à respiração basal (RB) e o quociente metabólico (q_{CO_2}), componentes da taxa de respiração específica da biomassa e atributos relacionados ao ciclo do carbono orgânico, os resultados são apresentados na Tabela 4. Embora tenha havido uma tendência de maiores valores nos sistemas de pastagem cultivada (PC27, PC26 e PC11), foram constatados efeitos significativos somente entre FN1 vs PC27, com elevação da RB de 62 e 57% no sistema PC27, respectivamente nas profundidades de 10-20 e 20-40 cm; e entre CE2 vs PC11, com aumento da RB e q_{CO_2} , na profundidade de 0-10 cm, de 94 e 280%, respectivamente.

TABELA 4. Respiração basal e quociente metabólico em amostras do solo de diferentes ambientes localizados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Matogrossense, e valores de F dos contrastes de interesse.

Ambiente/ contraste	Respiração Basal ($\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$)			Quociente metabólico ($\mu\text{g CO}_2 \mu\text{g Cmic}^{-1} \text{ dia}^{-1}$)		
	0-10	10-20	20-40	0-10	10-20	20-40
	Profundidade (cm)					
FN1	22	21	21	0,04	0,07	0,12
CE1	23	24	22	0,06	0,27	0,35
CE2	18	28	25	0,09	0,35	0,43
PC27	24	34	33	0,08	0,23	0,39
PC26	28	26	25	0,18	0,49	0,53
PC11	35	28	30	0,35	0,30	0,41
PNpc	16	16	17	0,18	0,30	0,31
PNv3	17	16	15	0,16	0,18	0,27
PNv19	16	25	24	0,11	0,33	0,68
	Valor de F					
FN1 vs PC27	0,31 ^{NS}	9,45**	8,44**	0,07 ^{NS}	1,21 ^{NS}	3,48 ^{NS}
CE1 vs PC26	4,75 ^{NS}	0,35 ^{NS}	0,75 ^{NS}	0,60 ^{NS}	2,17 ^{NS}	1,52 ^{NS}
CE2 vs PC11	17,62**	0,00 ^{NS}	1,40 ^{NS}	2,93*	0,10 ^{NS}	0,02 ^{NS}
PNv3 vs PNpc	0,03 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,35 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,60 ^{NS}	0,09 ^{NS}
PNv19 vs PNpc	0,00 ^{NS}	4,20*	2,43 ^{NS}	0,24 ^{NS}	0,03 ^{NS}	6,32*

FN1: mata semidecídua; CE1: cerradão; CE2: cerradão; PC27, PC26, PC11: pastagem cultivada com 27, 26 e 11 anos de formação, respectivamente, e implantadas em substituição à FN1, CE1, CE2, respectivamente; PNpc, PNv3, PNv19: pastagem nativa com sistema de pastejo contínuo, vedada por 3 anos, e sem pastejo por 19 anos (Reserva ecológica), respectivamente.

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade; *Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{NS} Não significativo.

Segundo Colozzi Filho et al. (1999) atividade microbiana maior representa mais carbono respirado e, por conseguinte, perda de carbono do sistema solo-planta para a atmosfera. Altas taxas de respiração podem indicar tanto um distúrbio ecológico como um alto nível de produtividade do ecossistema (Islam & Weil, 2000). Por sua vez, um baixo $q\text{CO}_2$ indica economia

na utilização de energia e supostamente reflete um ambiente mais estável ou mais próximo do seu estado de equilíbrio; ao contrário, valores elevados são indicativos de ecossistemas submetidos a alguma condição de estresse ou de distúrbio (Tótola & Chaer, 2002).

Segundo Vargas et al. (2004), a comunidade microbiana do solo é influenciada pela temperatura, umidade e aeração do solo, disponibilidade de nutrientes e pelos substratos orgânicos. Dessa forma, o menor qCO_2 constatado no solo sob floresta nativa, pode ser decorrente de menores variações e níveis mais adequados de temperatura e umidade, proporcionados pela vegetação mais densa e serapilheira acumulada na superfície do solo, como também pelo maior aporte de material orgânico com composição variada, proveniente das diferentes espécies vegetais da floresta nativa. De acordo com Wardle (1994), tanto fatores de estresse (como metais pesados, limitações de nutrientes, baixo pH, etc.) como fatores de perturbações (cultivo, queimadas, etc.) induzem à redução da eficiência microbiana. Ressalta-se ainda, que o ciclo plurianual de seca e cheia, um dos fatores que regem a biodiversidade do Pantanal (Junk & Silva, 1996), também pode exercer influência decisiva na atividade microbiana, pois ora favorece as espécies animais e vegetais associadas à fase de seca, ora favorece as espécies associadas à fase de cheia.

6 Conclusões

Os teores de matéria orgânica, carbono microbiano, quociente microbiano, respiração basal e quociente metabólico mostraram-se sensíveis às alterações promovidas no solo pela substituição da floresta nativa por pastagem cultivada e pelo sistema de pastejo contínuo em pastagem nativa, quando comparada com a mesma sem pastejo por 19 anos. Contudo, o carbono

microbiano mostrou-se mais sensível às alterações, pois foi marcado por reduções mais expressivas que os demais atributos.

A substituição da floresta nativa por pastagem cultivada promoveu redução nos teores de matéria orgânica do solo, carbono microbiano e quociente microbiano e elevação da respiração basal e quociente metabólico.

O sistema de pastejo contínuo em pastagem nativa promoveu redução nos teores de matéria orgânica do solo e no carbono microbiano, quando comparada com a mesma sem pastejo por 19 anos, mas não diferiu da pastagem vedada por 3 anos.

7 Referências Bibliográficas

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.). **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic, 1995. 576p.

ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, v. 25, p.393-395, 1993.

BATJES, N.H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.47, n.2, p.151-163, 1996.

CADAVID GARCIA, E.A. **Estudo técnico-econômico da pecuária de corte do Pantanal Mato-Grossense**. Corumbá: EMBRAPA-CPAP, 1986. p. 126-127. (EMBRAPA-CPAP. Documentos, 4).

CARVALHO, F. de. **Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade de solo em florestas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. no Estado de São Paulo**. 2005. 79p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, Brasília, DF.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W.J.; ARMANDO, M.S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1153-1155, nov. 2004.

CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; VOLKOFF, B.; MORAES, J.L. Dinâmica do carbono nos solos da Amazônia. In: ALVAREZ, V.V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F (Org.). Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do

Brasil e o desenvolvimento sustentável. Viçosa, MG: SBCS/UFV, 1996, p. 61-69.

COLOZZI FILHO, A.; BALOTA, E.L.; ANDRADE, D.S. Microrganismos e processos biológicos no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships**. Viçosa, MG: SBCS; Lavras: UFLA/DCS, 1999. 818p.

COSTA, O.V. **Estoque de carbono e indicadores da qualidade de solo de Tabuleiro sob pastagem no Sul da Bahia**. 2005. 64p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, p.913-923, out./dez. 2002.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do SISVAR (Sistema par análise de variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO DA BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., São Carlos, 2000. **Anais...** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2000. p.255-258.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; SANTOS, G.A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n.6, p. 893-901, nov./dez. 2005.

GARCIA, M.R.L.; NAHAS, E. Biomassa e atividades microbianas em solo sob pastagem com diferentes lotações de ovinos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 2, p. 269-276, mar./abr. 2007.

GHANI, A.; DEXTER, M.; PERROTT, K.W. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 35, p. 1231-1243, 2003.

ISLAM, K.R., WEIL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture Ecosystems and Environment**, New York, v. 79, p.9-16, 2000.

JUNK, W.J.; SILVA, C.J. O conceito do pulso de inundação e suas implicações para o Pantanal de Mato Grosso. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS

NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS, 2., 1996, Corumbá. **Anais...** Manejo e Conservação. Corumbá: Embrapa Pantanal, 1999. p.17-28.

KARLEN, D.L.; STOTT, D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Ed.). **Defining Soil Quality for a Sustainable Environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.53-72. (SSSA Special Publication, 35).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MALAVOLTA, E. Fertilidade dos solos da Amazônia. In: VIEIRA, L.S.; SANTOS, P.C.T.C. (Ed.). **Amazônia: seus solos e outros recursos naturais**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1987. p. 374-416.

MATSUOKA, M.; MENDES, I.C.; LOUREIRO, M.F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.27, n. 3, p.425-433, maio/jun. 2003.

MOREIRA, A.; COSTA, D.G. Dinâmica da matéria orgânica na recuperação de clareiras da floresta amazônica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.10, p.1013-1019, out. 2004.

PARKIN, T.B.; DORAN, J.W.; FRANCO-VIZCAÍNO, E. Field and laboratory tests of soil respiration. In: DORAN, J.W.; JONES, A. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.231-245. (SSSA Special Publication, 35).

PAUL, E.A.; HARRIS, D.; COLLINS, H.P.; SCHULTHESS, U.; ROBERTSON, G.P. Evolution of CO₂ and carbon dynamics in biologically managed, row-crop agroecosystems. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 11, p. 53-65, 1999.

RICE, C.W.; MOORMAN, T.B.; BEARE, M. Role of microbial biomass carbon and nitrogen in soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.203-215. (SSSA Special Publication, 49).

SAVIOZZI, A.; BUFALINO, P.; LEVI-MINZI, R.; RIFFALDI, R. Biochemical activities in a degraded soil restored by two amendments: a laboratory study. **Biology Fertility of Soils**, Berlin, v. 35, p.96-101, 2002.

SILVA, J.S.V.; ABDON, M.M.; SILVA, M.P.; ROMERO, H.R. Levantamento do desmatamento no Pantanal brasileiro até 1990/91. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n. 10, p.1739-1745, 1998. Especial.

SMITH, J.L.; PAUL, E.A. The significance of soil microbial biomass estimations. In: BOLLAG, J.M.; STOTSKY, G. **Soil biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1990. p.357-398.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 30, p. 195-207, 1992.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. **Soil and Plant Science**, Lubbock, v. 49, p. 1-24, 1999.

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. In: ALVAREZ, V.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F. de; MELLO, J.W.V. de; COSTA, L.M. da. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p.195-276.

TURCO, R.F.; KENNEDY, A.C.; JAWSON, M.D. Microbial indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.73-89. (SSSA Special Publication, 35)

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford v. 19, p. 703-707, 1987.

VARGAS, L.K.; SEBACH, P.A.; SÁ, E.L.S. Alterações microbianas no solo durante o ciclo do milho nos sistemas plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.8, p.749-755, ago. 2004.

WARDLE, D.A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: EMBRAPA, 1994. p.419-436.

CAPÍTULO 6

Índice de qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense

1 Resumo

CARDOSO, Evaldo Luis. Índice de qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense. In: _____. **Qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense**. 2008. Cap. 6, p. 126-152. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.¹

A avaliação da qualidade do solo tem sido crescentemente proposta como um indicador integrado da qualidade do ambiente e da sustentabilidade da produção. O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo promovidas por sistemas de pastagens cultivada e nativa no Pantanal e estabelecer índices para expressar a qualidade do solo. O trabalho consistiu na avaliação de ambientes de florestas nativas, pastagens de *Brachiaria decumbens*, implantadas em substituição às florestas nativas e com diferentes idades de formação e pastagens nativas sob sistema de pastejo contínuo, vedada por 3 anos e sem pastejo por 19 anos (Reserva ecológica). Em cada ambiente foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, com três repetições, e analisados um conjunto de indicadores químicos, físicos e biológicos. A avaliação da qualidade do solo foi realizada a partir do desenvolvimento de dois índices de qualidade: IQS_1 – calculado a partir dos desvios dos atributos do solo dos sistemas de pastagens cultivada e nativa em relação aos respectivos ambientes naturais (referência); IQS_2 – calculado a partir de um modelo aditivo que considera as funções principais do solo e os indicadores de qualidade a elas associados, sendo atribuídos pesos tanto para as funções como para os indicadores. A análise integrada dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo evidenciou que os sistemas de pastagens cultivada e nativa promoveram redução significativa da qualidade do solo, sendo as reduções mais expressivas evidenciadas pela substituição da floresta nativa por pastagem cultivada. Os dois índices de qualidade do solo foram eficientes ao refletirem a variação da qualidade do solo, sendo, portanto, passíveis de adoção no monitoramento da sustentabilidade de sistemas de produção.

Termos para indexação: Qualidade do solo, sustentabilidade, funções do solo, conservação ambiental.

¹ Orientador: Prof. Marx Leandro Naves Silva (UFLA/DCS)

2 Abstract

CARDOSO, Evaldo Luis. Soil quality index in cultivated and native pastures systems in Nhecolandia sub-region, South Pantanal Wetlands. In: _____. **Soil quality of cultivated and native pastures systems in the Nhecolandia sub-region, South Pantanal Wetlands**. 2008. Chap. 6, p. 126-152. Thesis (Doctorate in Soil Science) – Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil.¹

The evaluation of soil quality has been increasingly proposed as an indicator integrated to environmental quality and production sustainability. The objective of this work was to evaluate the alterations in the chemical, physical and biological attributes of soil promoted by cultivated and native pastures systems in the Pantanal Wetlands and to establish soil quality indexes. The work consisted of the evaluation of environments of native forests, *Brachiaria decumbens* pastures of different formation ages established in replacement of the native forests and native pasture under the continuous grazing, without grazing for 3 years and without any grazing for 19 years (ecological reserve). Soil samples were collected in each environment at the depths of 0-10 and 10-20 cm with three replications and a set of chemical, biological and physical indicators were analyzed. The soil quality evaluation was conducted from the development of two quality indices: SQI_1 – calculated from the deviations of the soil attributes of the cultivated and native pastures systems relative to the respective natural environments (reference); SQI_2 – calculated from a additive model which considers the main functions of soil and the quality indicators associated to them, weights being ascribed both to the function and to the indicators. The integrated study of the chemical, physical and biological attributes of soil stressed that the systems of cultivated and native pastures promoted significant soil quality reduction, the most expressive reductions being evidenced by the replacement of native forests by cultivated pasture. The two soil quality indexes were effective in reflecting the variation in soil quality, being, therefore, capable of being adopted in the sustainability monitoring of the production systems.

Index Terms: Soil quality, sustainability, soil functions, environmental conservation.

¹ Adviser: Prof. Marx Leandro Naves Silva (UFLA/DCS)

3 Introdução

O conceito de sustentabilidade agrícola, ainda que não consensual quanto ao seu exato significado, surge como um novo entendimento balizador do desenvolvimento e para nortear os rumos desse novo conceito, são necessários indicadores ambientais, econômicos e sociais que permitam caracterizar, avaliar e monitorar um dado sistema. Dentre os indicadores ambientais, o elemento solo assume papel de destaque. Para Correia (1999), o desconhecimento do funcionamento global dos sistemas tanto naturais quanto de pastagens cultivadas em regiões tropicais, bem como das estratégias de manejo, constitui o principal responsável pela degradação dos solos. Segundo Doran & Parkin (1994) o manejo da terra é considerado sustentável apenas quando mantém ou melhora a qualidade dos recursos naturais, entre os quais o ar e o solo. Para Burger (1996) a avaliação direta das propriedades do solo parece ser a forma mais adequada de medir ou monitorar a sua conservação ou qualquer processo de degradação em curso.

Os conceitos de qualidade do solo, recentemente formulados, surgem como importante instrumento para medir ou monitorar a conservação do solo ou qualquer processo de degradação em curso, pois são úteis na avaliação de interferências antrópicas sobre o ambiente, uma vez que consideram a relação entre o solo e os demais componentes do agroecossistema (D'Andréa, 2001). Um solo manejado corretamente, de forma que aumente ou conserve a sua qualidade, não somente irá aumentar a produtividade das culturas, como também contribuirá para manter a qualidade ambiental (Kennedy & Papendick, 1995). A qualidade do solo foi definida, conforme Doran & Parkin (1994), como a capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro dos limites do ecossistema manejado ou natural, como sustento para o desenvolvimento de plantas e de animais, de manter ou de aumentar a qualidade da água e do ar e de

promover a saúde humana. Larson & Pierce (1994), a enfatizam como uma combinação de propriedades físicas, químicas e biológicas que fornecem os meios para a produção vegetal e animal, para regular o fluxo de água no ambiente e para atuar como um filtro ambiental na atenuação e degradação de componentes ambientalmente danosos ou perigosos. Para Lal & Miller (1993), os conceitos de qualidade do solo, sustentabilidade e resiliência estão intimamente ligados, sendo difícil discutir um sem mencionar o outro.

Desde a formulação dos conceitos de qualidade do solo inúmeras linhas de avaliação têm sido propostas, como a avaliação da matéria orgânica do solo, que constitui fonte primária de nutrientes às plantas e exerce influência em diversos processos que ocorrem no solo (Conceição et al., 2005); a quantificação de microrganismos e processos microbiológicos no solo, por interferirem ativamente nos teores de matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes, no fluxo de energia, na estrutura de agregados e, conseqüentemente, serem sensíveis às mudanças no ambiente do solo (Trannin et al., 2007); a avaliação de atributos físicos, principalmente por estarem relacionados com o desenvolvimento radicular e movimento de água no perfil (Neves et al., 2007). Combinando os fatores de complexidade do ambiente solo, onde interagem inúmeros processos químicos, físicos e biológicos, com a definição de qualidade do solo, que reconhece as suas múltiplas funções (Tótola & Chaer, 2002), outras linhas sugerem a avaliação integrada de um conjunto de indicadores e sua expressão através de um índice geral de qualidade. Nesse caso, devem-se definir explicitamente as funções do solo que determinam a sua qualidade para o objetivo desejado, identificar os atributos de cada função e, então, selecionar um conjunto mínimo de indicadores para medir cada função (Doran & Parkin, 1994; Karlen & Stott, 1994; Larson & Pierce, 1994). Segundo Islam & Weil (2000), a qualidade do solo pode também ser avaliada através do índice de deterioração do

solo, no qual os desvios das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo de áreas antropogênicas são comparados à linha-base de área natural adjacente.

A quantificação da qualidade do solo, seja para os agroecossistemas do Pantanal ou de qualquer outro importante ecossistema, pode constituir importante instrumento para monitorar a sustentabilidade dos sistemas de produção. A avaliação da qualidade do solo permite caracterizar uma situação atual, alertar para situações de risco e prever situações futuras, ou seja, permite identificar o que está ocorrendo no sistema de manejo em curso, se o manejo atual está contribuindo para aumentar ou diminuir a capacidade produtiva do solo. Especificamente para o Pantanal, ecossistema marcado pela elevada fragilidade ambiental e reconhecido como de grande importância para a manutenção da biodiversidade, é premente a necessidade de instrumentos que permitam monitorar a sustentabilidade de seus sistemas de produção, sob pena da intensificação das atividades produtivas comprometerem, irreversivelmente, a diversidade de seus recursos naturais.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo promovidas por sistemas de pastagens cultivada e nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense, e estabelecer índices que expressem a qualidade do solo.

4 Material e Métodos

O estudo foi realizado em duas fazendas localizadas na sub-região da Nhecolândia, cujo clima é tropical subúmido (Aw, Köppen), com temperatura média anual de 26 °C e precipitação média de 800 a 1.200 mm (Cadavid Garcia, 1986). As áreas de estudo consistiram de ambientes de florestas nativas; pastagens cultivadas implantadas em substituição às florestas nativas; pastagens

nativas submetidas ao sistema de pastejo contínuo e sem pastejo por 3 e 19 anos, conforme detalhadas na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição e caracterização dos ambientes de estudo localizados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense.

Ambiente de estudo	Caracterização
FN1	Mata semidecídua – ocorrência de 24 diferentes espécies com altura média de 12,4 m e diâmetro médio de 27,0 cm; destacando-se como espécies mais abundantes: <i>Attalea phalerata</i> , <i>Rhamnidium elaeocarpum</i> , <i>Astronium fraxinifolium</i> (Salis, 2004). Localização: 18°34'57" S e 55°50'52" WGr.
PC27	Pastagem cultivada* - <i>Brachiaria decumbens</i> implantada em substituição à FN1, em área adjacente à mesma, com 27 anos de formação.
CE1	Cerradão - ocorrência de 30 diferentes espécies com altura média de 11,7 m e diâmetro médio de 15,8 cm; destacando-se como espécies mais abundantes: <i>Qualea grandiflora</i> , <i>Caryocar brasiliense</i> , <i>Lafoensia pacar</i> (Salis, 2004). Localização: 18°33'11" S e 55°48'41" WGr.
PC26	Pastagem cultivada* - <i>Brachiaria decumbens</i> implantada em substituição à CE1, em área adjacente à mesma, com 26 anos de formação.
CE2	Cerradão - ocorrência de 43 diferentes espécies com altura média de 7,5 m e diâmetro médio de 12,4 cm; destacando-se como espécies mais abundantes: <i>Alibertia sessili</i> , <i>Protium heptaphyllum</i> , <i>Zanthoxylum rigidum</i> (Salis, 2004). Localização: 18°59'57" S e 56°38'10" WGr.
PC11	Pastagem cultivada* - <i>Brachiaria decumbens</i> implantada em substituição à CE2, em área adjacente à mesma, com 11 anos de formação.
PNpc	Pastagem nativa - com predominância de <i>Axonopus purpusii</i> e <i>Mesosetum chaseae</i> e submetida ao sistema de pastejo contínuo. Localização: 18°59'25" S e 56°38'43" WGr
PNv3	Pastagem nativa - com predominância de <i>Axonopus purpusii</i> e <i>Mesosetum chaseae</i> e vedada por 3 anos, área adjacente e contígua à PNpc. Localização: 18°59'57" S e 56°38'01" WGr
PNv19	Pastagem nativa - com predominância de <i>Mesosetum chaseae</i> e sem pastejo por 19 anos, área de Reserva ecológica localizada na fazenda Nhumirim. Localização: 18°58'42" S e 56°37'00" WGr

*As pastagens cultivadas foram implantadas após a derrubada e queima da floresta nativa, não havendo qualquer tipo de correção ou adubação do solo.

A amostragem do solo consistiu da realização de transectos em cada ambiente de estudo e coleta de amostras deformadas e indeformadas, nas

profundidades de 0-10 e 10-20 cm, com três repetições. As amostras deformadas, coletadas em minitrincheiras, foram secas ao ar e passadas em peneiras de 2 mm de diâmetro; as amostras com estrutura indeformada foram coletadas com o uso do amostrador de Uhland, sendo os cilindros de alumínio de dimensões médias de 8,25 cm de altura e 6,96 cm de diâmetro interno. Os atributos químicos, físicos e biológicos foram analisados conforme descritos nos capítulos 3, 4 e 5, respectivamente. Os indicadores selecionados para utilização nos modelos para o estabelecimento dos índices de qualidade do solo foram aqueles que apresentaram resultado significativo na conversão da floresta nativa em pastagem cultivada e no sistema de pastejo contínuo em pastagem nativa, conforme discutidos nos citados capítulos.

Dentre os atributos químicos foram considerados os teores de K, Ca, Mg, soma de bases trocáveis (SB), CTC efetiva (t), CTC pH 7,0 (T), CO, C-FAF, C-FAH; dentre os atributos físicos foram selecionados a densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Mac), resistência do solo à penetração (Rp), condutividade hidráulica do solo saturado (Ks) e; dentre os atributos biológicos, carbono microbiano (Cmic) e quociente microbiano (qMIC).

A avaliação da qualidade do solo foi realizada a partir do desenvolvimento de dois índices de qualidade: IQS₁ - adotando-se o modelo sugerido por Islam & Weil (2000) e aplicado por Araújo et al. (2007); IQS₂ - conforme modelo proposto por Karlen & Stott (1994) e aplicado por Chaer & Tótola (2003) e Melo Filho et al. (2007). O IQS₁ foi estabelecido baseado no modelo proposto para a determinação do índice de deterioração do solo (Islam & Weil, 2000). De acordo com Araújo et al. (2007), para aplicação do modelo algumas premissas básicas devem ser assumidas, como: os ecossistemas naturais, caracterizados pelo mínimo de intervenção antrópica e de esperado equilíbrio, foram considerados como referência; as três categorias de atributos

de qualidade do solo (químicos, físicos e biológicos) contribuem equitativamente para a qualidade do solo, sendo atribuído a cada categoria o mesmo peso ponderado; os indicadores dentro de cada categoria de atributos têm a mesma importância relativa.

Portanto, as floresta nativas (FN1, FN2, FN3) foram consideradas como a referência dos respectivos e adjacentes sistemas de pastagem cultivada (PC27, PC26, PC11) e a pastagem nativa sem pastejo por 19 anos (PNv19), área de Reserva ecológica, como a referência das pastagens nativas com sistema de pastejo contínuo (PNpc) e vedada por 3 anos (PNv3). As diferenças entre os atributos do solo dos sistemas de pastagens cultivada e nativa, comparadas à linha base dos atributos do solo das respectivas áreas de referência, foram calculadas e expressas como a média dos desvios dos valores individuais de cada atributo. A média geral dos desvios de cada atributo do solo representa a sua deterioração em relação à referência. Para os ecossistemas considerados como referência (FN1, FN2, FN3, PNv19) foi atribuído o valor 1,0 para a qualidade do solo e sua diferença em relação à deterioração do solo nos sistemas de pastagens cultivada e nativa constitui o índice de qualidade do solo (IQS₁). O cálculo do IQS₁ processou-se em duas etapas:

$$Q_A = \frac{\left(\frac{w1-k1}{k1}\right) + \left(\frac{w2-k2}{k2}\right) + \left(\frac{w3-k3}{k3}\right) + \left(\frac{wn-kn}{kn}\right)}{n}$$

$$IQS_1 = 1 - \left(\frac{Qaq + Qaf + Qab}{3}\right)$$

em que: 'Q_A' – refere-se à média dos desvios dos indicadores de cada atributo em relação à referência; 'w' – refere-se ao valor do indicador medido nos sistemas de pastagens cultivada ou nativa; 'k' - refere-se ao valor do indicador

medido no ecossistema referência; 'n' – é o número de indicadores que compõem cada conjunto de atributos; 'Qaq' – é a média dos desvios dos atributos químicos; 'Qaf' – é a média dos desvios dos atributos físicos; 'Qab' – é a média dos desvios dos atributos biológicos.

O IQS_2 foi estruturado conforme a proposição de Karlen & Stott (1994), na qual o índice é gerado a partir de um modelo aditivo que considera as funções principais do solo e os indicadores de qualidade a elas associados, sendo atribuídos pesos tanto para as funções como para os indicadores, e seu cálculo processou-se em duas etapas:

$$Q_{FPn} = I_1 (w_1) + I_2 (w_2) + I_n (w_n)$$

$$IQS_2 = Q_{FP1} (W_{FP1}) + Q_{FP2} (W_{FP2}) + Q_{FP3} (W_{FP3}) + Q_{FP4} (W_{FP4}) + Q_{FPn} (W_{FPn})$$

em que: 'Q_{FPn}' - refere-se à qualidade da função principal do solo; 'I' - refere-se aos escores padronizados dos indicadores de qualidade relacionados a cada função principal; 'w' - refere-se aos ponderadores relacionados a cada indicador ou a cada função principal e; 'IQS' - é o índice integrado da qualidade do solo.

Neste estudo foram definidas quatro funções do solo relacionadas com a sustentabilidade do sistema: receber, armazenar e suprir água (RAA); promover o crescimento das raízes (PCR); armazenar, suprir e ciclar nutrientes (ACN) e; promover a atividade biológica (PAB). Para cada função do solo foi assumida a igualdade de importância, com atribuição de peso 0,25 para cada uma delas (Tabela 2). Cada função do solo está associada a um conjunto de indicadores de qualidade, selecionados para quantificar a performance da referida função no ambiente, e também receberam um peso específico no desempenho da função a que está associado.

TABELA 2. Funções principais do solo e indicadores de qualidade para determinação do índice de qualidade do solo (IQS₂) de ambientes localizados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Matogrossense.

Função principal	Ponderador da função	Indicador de qualidade	Ponderador do indicador	Limite		
				Inferior	Superior	Crítico
Receber, armazenar, e suprir água (RAA)	0,25	Ds (kg dm ⁻³)	0,15	1,3 (1,3)	1,7 (1,7)	1,4 (1,45)
		MOS (g kg ⁻¹)	0,4	0 (0)	18,4 (9,4)	9,2 (4,7)
		Rp (MPa)	0,15	0,5 (0,5)	1,7 (1,05)	1,0 (1,0)
		Pt (m ³ m ⁻³)	0,15	0,36 (0,36)	0,50 (0,50)	0,43 (0,43)
		Mac (m ³ m ⁻³)	0,15	0,10 (0,10)	0,30 (0,30)	0,25 (0,25)
Promover o crescimento das raízes (PCR)	0,25	Ds (kg dm ⁻³)	0,15	1,3 (1,3)	1,7 (1,7)	1,4 (1,45)
		Rp (MPa)	0,15	0,5 (0,5)	1,7 (1,05)	1,0 (1,0)
		MOS (g kg ⁻¹)	0,4	0 (0)	18,4 (9,4)	9,2 (4,7)
		SB (cmol _c dm ⁻³)	0,15	0 (0)	5,4 (0,67)	2,7 (0,35)
		t (cmol _c dm ⁻³)	0,15	0 (0)	5,4 (1,1)	2,7 (0,6)
Armazenar, ciclar e suprir nutrientes (ACN)	0,25	MOS (g kg ⁻¹)	0,6	0 (0)	18,4 (9,4)	9,2 (4,7)
		SB (cmol _c dm ⁻³)	0,1	0 (0)	5,4 (0,67)	2,7 (0,35)
		t (cmol _c dm ⁻³)	0,1	0 (0)	5,4 (1,1)	2,7 (0,6)
		Cmic (µg g ⁻¹)	0,2	0 (0)	486 (186)	243 (93)
Promover a atividade biológica (PAB)	0,25	SB (cmol _c dm ⁻³)	0,15	0 (0)	5,4 (0,67)	2,7 (0,35)
		t (cmol _c dm ⁻³)	0,15	0 (0)	5,4 (1,1)	2,7 (0,6)
		MOS (g kg ⁻¹)	0,4	0 (0)	18,4 (9,4)	9,2 (4,7)
		Cmic (µg g ⁻¹)	0,2	0 (0)	486 (186)	243 (93)
		qMIC (%)	0,1	0 (0)	3,1 (2,75)	1,55 (1,37)

Ds – densidade do solo; MOS – matéria orgânica do solo; Rp – resistência à penetração; Pt – porosidade total; Mac – macroporosidade; SB – soma de bases trocáveis; t – CTC efetiva; Cmic – carbono microbiano; qMIC – quociente microbiano.

* Os limites críticos dentro dos parênteses referem-se aos valores estabelecidos para os agroecossistemas de pastagem nativa e fora para os agroecossistemas de floresta nativa e pastagem cultivada adjacente

Os indicadores de qualidade por possuírem diferentes unidades de medida foram padronizados para escores que variam de 0 a 1, sendo realizada através da função de padronização de escores desenvolvida por Wymore (1993), como:

$$v = \frac{1}{1 + ((B - L)/(x - L))^{2S(B+x-2L)}}$$

em que 'v' - é a pontuação padronizada; 'B' - o valor crítico ou limite-base do indicador, onde a pontuação equivale a 0,5; 'L' - o limite inferior ou o pior valor do indicador, podendo ser zero; 'S' - a inclinação da tangente da curva no limite-base ou no valor crítico do indicador; e 'x' - o valor do indicador medido no campo. Para aplicar a equação de Wymore (1993), inicialmente foi necessário calcular a inclinação (S) da tangente da curva de pontuação no valor crítico do indicador:

$$S = \frac{\log\left(\frac{1}{v}\right) - 1}{\log\left(\frac{B - L}{x - L}\right) * 2(B + x - 2 * L)}$$

As curvas de padronização de escores podem gerar três tipos de funções de pontuação padronizadas (Figura 1): a) 'mais é melhor' (p.e, Ca, Mg, soma de bases, CTC, C, Cmic), b) 'menor é melhor' (p.e., densidade do solo, resistência à penetração), c) 'ótimo' (porosidade total, macroporosidade).

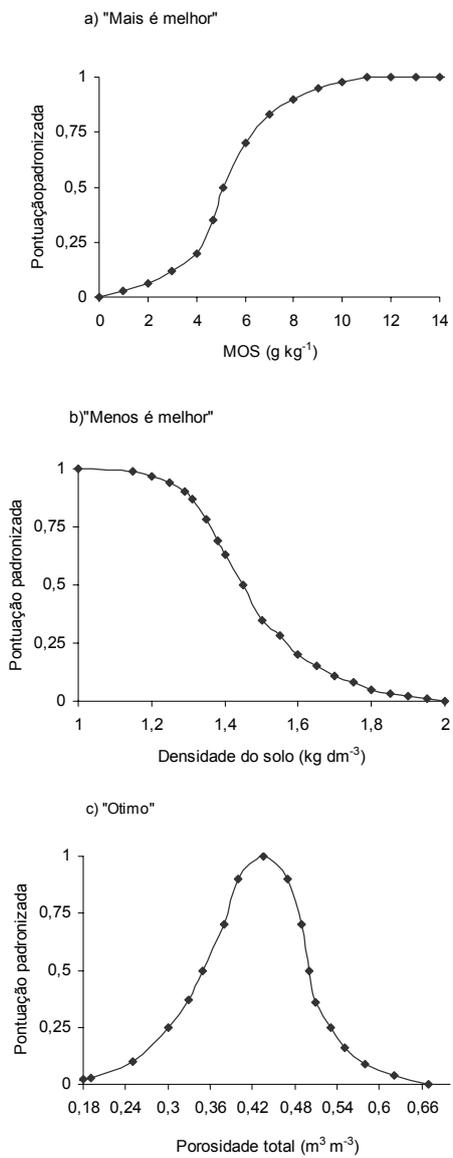


FIGURA 1. Funções de pontuação padronizadas conforme a natureza do indicador de qualidade do solo.
 Fonte: Karlen & Stott (1994)

De acordo com Melo Filho et al. (2007), na padronização dos atributos são utilizados dois valores-limite dos indicadores de qualidade, o superior e o inferior, e um valor crítico (Tabela 2). Os valores-limite superiores são quando a função de pontuação equivale a 1, quando a propriedade do solo medida está em nível ótimo. Os valores-limite inferiores são aqueles em que a função de pontuação equivale a 0 (zero), quando a propriedade do solo está em nível inaceitável. Os valores críticos são aqueles nos quais a função de pontuação é igual a 0,5. Tanto as curvas de padronização quanto os valores-limite superior, inferior e crítico devem ser criteriosamente estabelecidos. No modelo proposto por Karlen & Stott (1994) o índice de qualidade do solo é estabelecido tomando-se como referência uma condição ideal para o pleno desempenho das funções do solo. No presente estudo, como o índice de qualidade desenvolvido foi visando comparar os ecossistemas naturais e aqueles submetidos à ação antrópica, esses valores foram estabelecidos não considerando uma condição ideal, mas, no caso da comparação dos sistemas de pastagens cultivada (PC27, PC26, PC11) com os respectivos ambientes de floresta nativa (FN1, FN2, FN3), a média dos valores observados nos três ambientes de floresta e, no caso dos sistemas de pastagem nativa (PNv3, PNpc), com base na média dos valores da pastagem nativa sem pastejo por 19 anos (PNv19).

Os resultados foram submetidos à análise de variância, utilizando-se os procedimentos do SISVAR (Ferreira, 2000). As comparações para verificação do efeito da conversão da floresta nativa em pastagem cultivada e do sistema de pastejo contínuo em pastagem nativa foram realizadas por meio de contrastes ortogonais, a partir do desdobramento dos oito graus de liberdade dos ambientes de estudo. A significância dos contrastes de interesse, com um grau de liberdade, foi testada pelo teste F, a pelo menos 5% de probabilidade, levando-se em conta o quadrado médio do resíduo obtido pela análise de variância.

5 Resultados e Discussão

Os resultados dos atributos químicos, físicos e biológicos, avaliados no estabelecimento dos índices de qualidade do solo, são apresentados nas Tabelas 3 e 4, cujas alterações nos mesmos, decorrentes da conversão da floresta nativa em pastagem cultivada e do sistema de pastejo contínuo da pastagem nativa, já foram discutidos nos Capítulos 3, 4 e 5. Os valores dos índices de qualidade do solo (IQS_1 e IQS_2) são apresentados na Tabela 5. Os valores do IQS_1 , calculados a partir dos desvios das propriedades do solo dos sistemas de pastagens em relação aos respectivos ecossistemas naturais, foram significativamente influenciados tanto pela substituição da floresta nativa por pastagem cultivada como pelo sistema de pastejo contínuo da pastagem nativa, refletindo uma redução da qualidade do solo nos sistemas de pastagens, nas duas profundidades amostradas.

É possível verificar que os valores do IQS_1 foram relativamente menores na profundidade de 0-10 cm, evidenciando que a redução na qualidade do solo foi mais acentuada na camada superficial. Esses resultados, de forma coerente refletem o comportamento dos atributos químicos, físicos e biológicos dos diferentes ambientes estudados, cujas alterações foram mais intensas e amplas, contemplando a maioria dos contrastes analisados (Tabelas 3 e 4), na profundidade de 0-10 cm. Na camada superficial do solo foram observados os maiores conteúdos de matéria orgânica, proveniente principalmente da deposição de substrato orgânico na serapilheira; onde o efeito do pisoteio dos animais processou-se mais acentuadamente e onde a atividade da microbiota do solo sobre a decomposição e mineralização da matéria orgânica foi mais intensa. Portanto, nessa profundidade os atributos químicos, físicos e biológicos foram mais sensíveis às alterações impostas pela ação antrópica.

TABELA 3. Atributos químicos do solo de diferentes ambientes localizados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Matogrossense, e valores de F para os contrastes de interesse.

Ambiente/ contraste	Ca	Mg	SB	t	T	K	MOS	CO	C - FAF	C - FAH
	cmol _c dm ⁻³			mg dm ⁻³			g kg ⁻¹			
	Profundidade de 0-10 cm									
FN1	3,53	1,70	5,40	8,13	5,40	66,3	22	15,8	0,37	5,20
CE1	1,27	0,73	2,10	5,20	2,40	45,7	17	11,3	0,63	2,87
CE2	1,10	0,63	1,80	4,20	2,07	44,3	16	7,6	1,17	1,37
PC27	2,87	0,77	3,73	5,17	3,73	34,7	15	11,9	0,30	3,10
PC26	1,00	0,20	1,30	3,57	1,67	28,0	9,3	6,6	0,17	1,43
PC11	0,37	0,10	0,57	2,40	0,93	40,0	8,7	6,0	0,80	0,70
PNpc	0,27	0,10	0,40	1,77	0,73	15,3	4,7	4,6	1,80	0,17
PNv3	0,32	0,10	0,47	1,97	0,87	17,7	6	4,4	1,20	0,37
PNv19	0,40	0,17	0,67	2,70	1,10	26,7	9,3	7,2	1,23	1,80
	Valor de F									
FN1 vs PC27	4,35*	18,31**	16,98**	53,02**	17,85**	19,79**	18,78**	9,53**	3,10*	30,50**
CE1 vs PC26	0,69 ^{NS}	5,97*	3,91*	16,07**	3,48*	6,15*	26,62**	32,11**	7,68**	20,45**
CE2 vs PC11	4,80*	5,97*	9,30**	19,52**	8,25**	0,37 ^{NS}	26,61**	1,99 ^{NS}	2,86*	3,76*
PNv19 vs PNv3	0,03 ^{NS}	0,16 ^{NS}	0,21 ^{NS}	0,31 ^{NS}	3,05 ^{NS}	1,19 ^{NS}	12,8**	10,48**	0,17 ^{NS}	1,71 ^{NS}
PNv19 vs PNpc	0,17 ^{NS}	0,09 ^{NS}	0,43 ^{NS}	5,25*	0,86 ^{NS}	2,53 ^{NS}	65,64**	8,28**	2,17**	5,53*

Continua...

Tabela 3. cont.

Ambiente/ contraste	Ca	Mg	SB	t	T	K	MOS	CO	C - FAF	C - FAH
	.....cmol _c dm ⁻³					mg dm ⁻³		.....g kg ⁻¹		
	Profundidade de 10-20 cm									
FN1	2,60	1,07	3,77	5,93	3,77	48,3	16	11,2	0,10	4,63
CE1	0,57	0,20	0,83	3,07	1,43	25,7	6	3,4	0,10	0,57
CE2	0,30	0,10	0,50	2,13	0,90	21,7	5,7	4,0	0,37	0,30
PC27	3,37	0,47	3,87	5,03	3,87	18,3	12	7,8	0,10	1,43
PC26	0,73	0,20	0,93	2,17	1,03	8,0	3,7	2,7	0,10	0,53
PC11	0,47	0,20	0,76	2,40	1,13	23,7	4,3	3,4	0,67	0,57
PNpc	0,35	0,10	0,45	1,65	0,80	11,7	4	3,0	1,20	0,20
PNv3	0,25	0,10	0,35	1,60	0,70	9,5	4	2,6	1,0	0,10
PNv19	0,40	0,13	0,53	2,00	0,97	14,7	4,3	5,2	1,23	0,13
	Valor de F									
FN1 vs PC27	5,60*	7,36**	0,05 ^{NS}	4,74*	0,06 ^{NS}	17,27**	5,01*	15,23**	0,02 ^{NS}	109,61**
CE1 vs PC26	0,26 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,05 ^{NS}	4,75*	1,00 ^{NS}	5,99*	2,03 ^{NS}	0,25 ^{NS}	0,43 ^{NS}	0,00 ^{NS}
CE2 vs PC11	0,26 ^{NS}	0,20 ^{NS}	0,42 ^{NS}	0,41 ^{NS}	0,34 ^{NS}	0,07 ^{NS}	0,66 ^{NS}	1,19 ^{NS}	1,90 ^{NS}	0,85 ^{NS}
PNv19 vs PNv3	0,13 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,14 ^{NS}	0,31 ^{NS}	1,06 ^{NS}	0,47 ^{NS}	0,00 ^{NS}	10,87**	2,05 ^{NS}	0,11 ^{NS}
PNv19 vs PNpc	0,02 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,71 ^{NS}	0,17 ^{NS}	0,16 ^{NS}	0,04 ^{NS}	8,87**	0,00 ^{NS}	0,18 ^{NS}

FN1, CE1, CE2: floresta nativa; PC27, PC26, PC11: pastagem cultivada com 27, 26 e 11 anos de formação, respectivamente; PNpc, PNv3, PNv19: pastagem nativa com sistema de pastejo contínuo e sem pastejo por 3 e 19 anos (Reserva ecológica), respectivamente. Ca: cálcio; Mg: magnésio; S: soma de bases trocáveis; T: CTC a pH 7,0; t: CTC efetiva; K; potássio; MOS: matéria orgânica do solo; CO: carbono orgânico total; C-FAF: fração ácido fúlvico; C-FAH: fração ácido húmico.

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade; *Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{NS} Não significativo.

TABELA 4. Atributos físicos e biológicos do solo de diferentes ambientes localizados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Matogrossense, e valores de F para os contrastes de interesse.

Ambiente/ contraste	Ds kg dm ⁻³	Rp MPa	Pt m ³ m ⁻³	Mac m ³ m ⁻³	Ks mm h ⁻¹	Cmic µg g ⁻¹	qMIC %
Profundidade de 0-10 cm							
FN1	1,40	1,02	0,44	0,25	447,3	486	3,2
CE1	1,50	0,74	0,43	0,29	423,3	339	3,1
CE2	1,44	0,69	0,43	0,30	404,5	184	2,5
PC27	1,56	1,62	0,39	0,17	161,7	280	2,4
PC26	1,59	1,33	0,38	0,12	185,3	159	2,4
PC11	1,56	1,02	0,39	0,14	164,7	106	1,7
PNpc	1,61	0,91	0,38	0,15	143,0	90	1,9
PNv3	1,57	0,98	0,40	0,19	269,0	104	2,3
PNv19	1,45	0,73	0,43	0,21	383,0	184	2,2
Valor de F							
FN1 vs PC27	26,36**	104,79**	12,20**	6,95**	15,14**	47,36**	4,81*
CE1 vs PC26	11,17**	100,19**	9,00**	35,18**	10,37**	36,28**	3,44*
CE2 vs PC11	13,99**	30,71**	9,07**	33,82**	10,98**	6,68*	2,96*
PNv19 vs PNv3	14,24**	18,96**	4,13 ^{NS}	0,84 ^{NS}	1,12 ^{NS}	2,00 ^{NS}	0,39 ^{NS}
PNv19 vs PNpc	25,24**	10,03**	13,28**	4,20*	10,92**	4,30*	0,04 ^{NS}

Continua...

Tabela 4. Cont.

Ambiente/ contraste	Ds kg dm ⁻³	Rp MPa	Pt m ³ m ⁻³	Mac m ³ m ⁻³	Ks mm h ⁻¹	Cmic µg g ⁻¹	qMIC %
Profundidade de 10-20 cm							
FN1	1,50	1,02	0,41	0,24	408,7	320	2,9
CE1	1,49	0,74	0,43	0,32	489,0	89	2,7
CE2	1,44	0,70	0,45	0,30	482,3	84	2,2
PC27	1,59	1,64	0,38	0,17	219,7	154	2,1
PC26	1,66	1,35	0,37	0,16	142,7	56	2,1
PC11	1,54	1,27	0,40	0,18	147,3	92	2,1
PNpc	1,6	0,97	0,39	0,21	264,2	68	2,3
PNv3	1,62	1,14	0,39	0,19	302,5	84	2,8
PNv19	1,54	0,73	0,40	0,19	293,7	98	2,4
Valor de F							
FN1 vs PC27	8,17**	113,04**	2,70*	5,69*	6,59*	29,99**	2,36 ^{NS}
CE1 vs PC26	28,91**	107,10**	21,60**	30,02**	22,22**	1,23 ^{NS}	1,28 ^{NS}
CE2 vs PC11	7,51**	94,61**	11,05**	17,82**	20,78**	0,07 ^{NS}	0,02 ^{NS}
PNv19 vs PNv3	6,33*	49,17**	1,09 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,31 ^{NS}	0,38 ^{NS}	4,63*
PNv19 vs PNpc	3,21 ^{NS}	16,58**	1,27 ^{NS}	0,40 ^{NS}	0,16 ^{NS}	0,94 ^{NS}	0,79 ^{NS}

FN1, CE1, CE2: floresta nativa; PC27, PC26, PC11: pastagem cultivada com 27, 26 e 11 anos de formação, respectivamente; PNpc, PNv3, PNv19: pastagem nativa com pastejo contínuo e sem pastejo por 3 e 19 anos (Reserva ecológica), respectivamente.

Ds: densidade do solo; Rp: resistência à penetração; Pt: porosidade total; Mac: macroporosidade; Ks: condutividade hidráulica do solo saturado; Cmic: carbono micribiano; qMIC: quociente micribiano.

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade; *Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{NS} Não significativo.

TABELA 5. Índice de qualidade do solo (IQS) de diferentes ambientes localizados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Matogrossense, e valores de F para os contrastes de interesse.

Ambiente/ contraste	Índice de qualidade do solo			
	IQS ₁		IQS ₂	
	Profundidade (cm)			
	0-10	10-20	0-10	10-20
FN1	1,00	1,00	0,818	0,684
CE1	1,00	1,00	0,678	0,357
CE2	1,00	1,00	0,614	0,321
PC27	0,68	0,71	0,629	0,533
PC26	0,64	0,71	0,403	0,245
PC11	0,62	0,85	0,377	0,310
PNpc	0,75	0,87	0,536	0,499
PNv3	0,84	0,83	0,585	0,439
PNv19	1,00	1,00	0,770	0,593
	Valor de F			
FN1 vs PC27	31,62**	24,85**	28,43**	17,54**
CE1 vs PC26	38,47**	25,43**	32,62**	8,42**
CE2 vs PC11	43,67**	6,80*	16,23**	1,89 ^{NS}
PNv19 vs PNv3	7,42*	8,74**	25,42**	42,78**
PNv19 vs PNpc	19,41**	5,12*	35,29**	18,78**

FN1, CE1, CE2: floresta nativa; PC27, PC26, PC11: pastagem cultivada com 27, 26 e 11 anos de formação, respectivamente; PNpc, PNv3, PNv19: pastagem nativa com pastejo contínuo e sem pastejo por 3 e 19 anos (Reserva ecológica), respectivamente.

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade; *Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{NS} Não significativo.

A análise do IQS₁ considerando a redução na qualidade do solo promovida pelos sistemas de pastagens (Figura 2), permite identificar uma redução da qualidade do solo, na profundidade de 0-10 cm, aproximadamente, de 32, 36 e 38% nos sistemas de pastagem cultivada com 27 (PC27), 26 (PC26) e 11 (PC11) anos de implantação, respectivamente; e, aproximadamente, de 25 e 16% na pastagem nativa com sistema de pastejo contínuo (PNpc) e vedada por 3 anos (PNv3), respectivamente. Para a profundidade de 10-20 cm, a redução da qualidade do solo foi, aproximadamente, de 28, 29 e 15% nos sistemas PC27, PC26 e PC11, respectivamente, e 13 e 17% nos sistemas PNpc e PNv3, respectivamente. Para a profundidade de 0-10 cm, nota-se que a redução da

qualidade do solo nos sistemas PC27 e PC26 foi determinada, em grande parte, por maior degradação dos atributos físicos, seguido dos biológicos e químicos; enquanto nos sistemas PC11, PNpc e PNv3, foi condicionada, em geral, por maior degradação dos atributos químicos, seguido dos físicos e biológicos. Esses resultados indicam uma tendência de maior degradação dos atributos químicos, seja nos sistemas de pastagens cultivada ou nativa, notadamente quando esses já se encontram em níveis relativamente baixos (FN3 vs PC11, PNv19 vs PNv3, PNv19 vs PNpc); ao passo que quando os atributos químicos apresentaram valores ligeiramente superiores (FN1 vs PC27, FN2 vs PC26), os atributos físicos se destacaram com maior degradação.

Araújo et al. (2007), utilizando o modelo proposto por Islan & Weil (2000) para avaliar a qualidade do solo de sistemas de pastagem natural e cultivada em comparação com o cerrado nativo, relataram valor de IQS de 0,54 e 0,39 para área de pastagem natural e plantada, respectivamente. Segundo os autores a redução da qualidade do solo foi de 46 e 61% na área de pastagem natural e plantada, respectivamente, sendo que os atributos químicos e biológicos mantiveram-se bem preservados, enquanto os físicos, muito alterados. De acordo com Canellas et al. (2003), a derrubada da vegetação nativa para implantação de agroecossistemas, provoca remoção de sistemas biológicos complexos, multiestruturados, diversificados e estáveis, sendo que a sua substituição por sistemas simples e instáveis provoca variações difíceis de quantificar no ciclo dos elementos necessários ao crescimento das plantas, promovendo, geralmente, diminuição da fertilidade do solo. Ainda conforme Malavolta (1987), a remoção da floresta para fins agrícolas causa uma quebra nos ciclos do carbono e dos nutrientes, os quais operam graças à entrada fotossintética do gás carbônico e à decomposição acelerada e contínua da matéria orgânica do solo, realizada pelos microorganismos (Moreira & Malavolta, 2004).

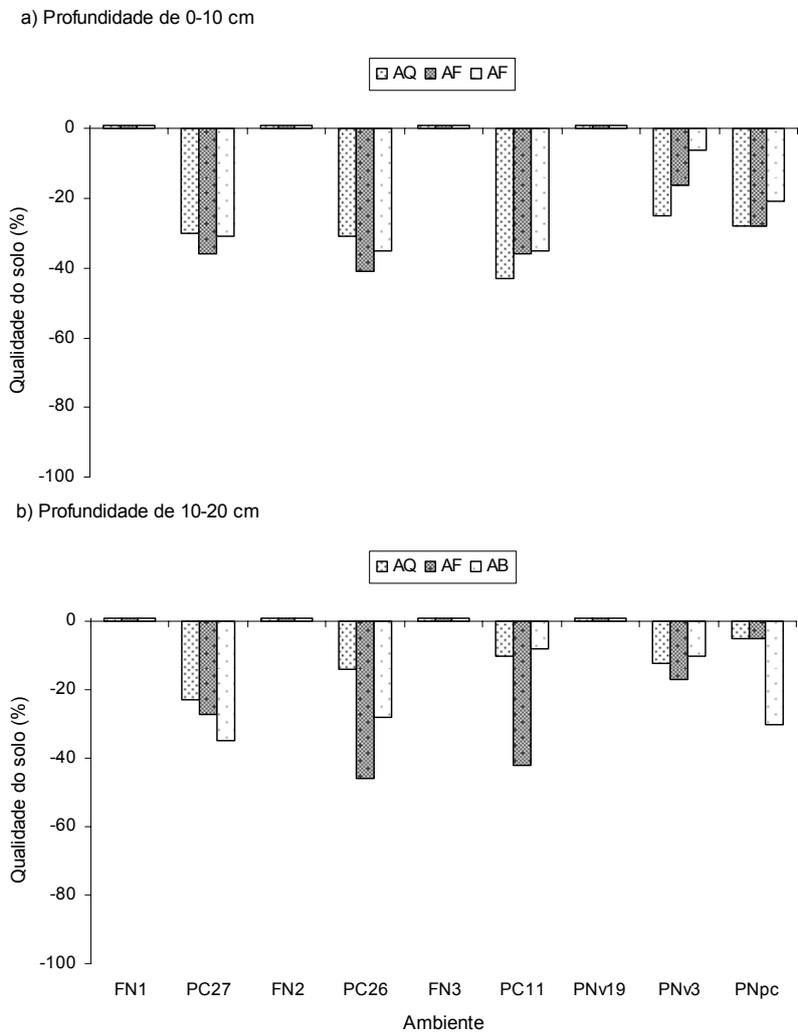


FIGURA 2. Qualidade do solo representada pelos atributos químicos (AQ), físicos (AF) e biológicos (AB), calculados a partir do IQS_1 , em diferentes ambientes localizados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Matogrossense.

Os valores do IQS_2 , desenvolvido a partir do estabelecimento das funções do solo e indicadores a ela associados, também foram significativamente influenciados pela conversão da floresta nativa em pastagem cultivada e pelo sistema de pastejo contínuo da pastagem nativa, refletindo uma redução da qualidade do solo nos sistemas de pastagens cultivada e nativa, quando comparados com os respectivos ecossistemas naturais (Tabela 5). Há que se ressaltar que os valores relativamente baixos do IQS_2 , ocorreram em virtude do objetivo do presente estudo, que buscou comparar a qualidade do solo dos sistemas de pastagens cultivada e nativa com o respectivo ecossistema natural. Dessa forma, os limites críticos dos indicadores não foram estabelecidos buscando o pleno desempenho da função do solo, e sim tomando-se como referência o ecossistema natural. Portanto, os limites críticos foram estabelecidos com base na média dos ambientes de floresta e de pastagem nativa sem pastejo por 19 anos (Tabela 2), os quais também apresentaram valores relativamente baixos, o que acabou, generalizadamente, puxando o valor do IQS_2 para baixo.

Os sistemas de pastagem cultivada com maior tempo de implantação, representadas pelo PC27 e PC26, apresentaram redução da qualidade do solo, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, correspondendo a, aproximadamente, 23 e 22% e 40 e 31%, respectivamente. Por sua vez, o sistema de pastagem cultivada com menor tempo de implantação, representado pelo PC11, apresentou redução significativa na qualidade do solo somente na profundidade de 0-10 cm, correspondendo a, aproximadamente, 39%. Da mesma forma como evidenciado pelo IQS_1 , o IQS_2 também constatou maior redução da qualidade do solo na camada superficial do solo. A perda de qualidade do solo nos sistemas PC27 e PC26, notadamente na profundidade de 0-10 cm, deveu-se em grande parte às restrições ao pleno desempenho das funções receber, armazenar e suprir água (RAA) e promover o crescimento das raízes (PCR) (Figura 3), que, por sua vez,

são fortemente influenciadas pelos indicadores inerentes aos atributos físicos. Esses resultados, de certa forma, também são coerentes com os mesmos observados no IQS₁, que evidenciaram maior degradação dos atributos físicos nos referidos sistemas de pastagem cultivada. Em relação ao sistema PC11, a perda de qualidade do solo, observada na profundidade de 0-10 cm, foi determinada pelas restrições ao pleno desempenho das funções de promover o crescimento das raízes (PCR) e armazenar, suprir e ciclar nutrientes (ACN). Por sua vez, na profundidade de 10-20 cm, embora a função armazenar, suprir e ciclar nutrientes (ACN) tenha apresentado desempenho superior no sistema PC11, condicionada principalmente pela maior fertilidade observada nessa profundidade no referido sistema (Tabela 3), ainda assim as restrições ao bom desenvolvimento das funções receber, armazenar e suprir água (RAA) e promover o crescimento das raízes (PCR), acabaram comprometendo a qualidade do solo.

Em relação aos sistemas de pastagem nativa, o IQS₂ evidenciou redução da qualidade do solo na pastagem nativa com sistema de pastejo contínuo (PNpc) e vedada por 3 anos (PNv3), aproximadamente, de 30 e 16% e 24 e 26%, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente. Em geral, as funções do solo com maiores restrições ao seu pleno desempenho nesses sistemas naturais e, que mais contribuíram para reduzir a qualidade do solo, foram: promover o crescimento das raízes (PCR) e armazenar, suprir e ciclar nutrientes (ACN) (Figura 2). Esses resultados podem ser atribuídos à maior degradação dos atributos químicos e físicos nesses campos naturais. Nesse caso, determinada, provavelmente, pela pressão mecânica sobre o solo, decorrente do pisoteio dos animais, e pela reduzida quantidade de aporte orgânico no solo, condicionada pela permanente desfolha promovida pelo pastejo, caracterizando-se em ambiente marcado apenas pela extração de biomassa do sistema e, basicamente, sem nenhuma reposição.

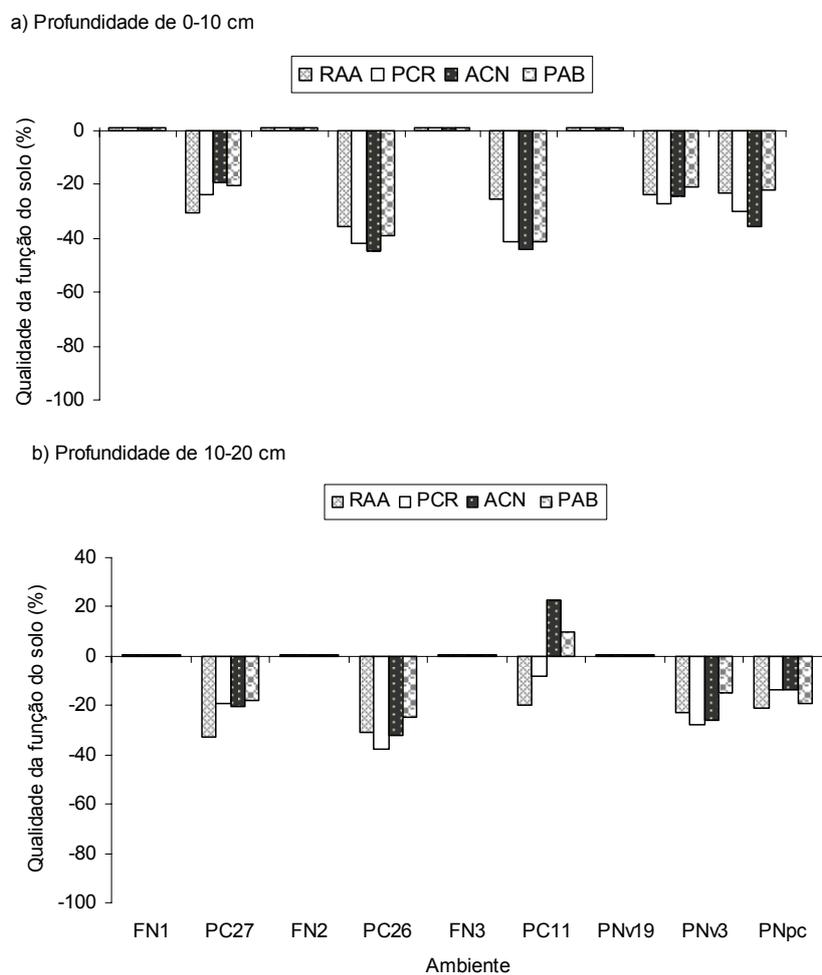


FIGURA 3. Qualidade do solo representada pelas funções receber, armazenar e suprir água (RAA); promover o crescimento das raízes (PCR); armazenar, suprir e ciclar nutrientes (ACN) e promover a atividade biológica (PAB), calculados a partir do IQS₂, em diferentes ambientes localizados na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Matogrossense.

Contudo, apesar da significativa redução da qualidade do solo nos sistemas de pastagem nativa, evidenciada pelos dois índices de qualidade, a capacidade produtiva desses campos naturais sugere uma alta resiliência dos mesmos, haja vista que essas pastagens nativas são utilizadas com a pecuária extensiva há mais de duzentos anos, sem jamais terem recebido qualquer tipo de aplicação de fertilizantes.

6 Conclusões

A análise integrada dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo de diferentes ambientes do Pantanal evidenciou que os sistemas de pastagens cultivada e nativa promoveram redução significativa da qualidade do solo, sendo as reduções mais expressivas evidenciadas na substituição da floresta nativa por pastagem cultivada.

Os índices de qualidade do solo gerados, tanto com base nos desvios das propriedades do solo de sistemas de pastagens em relação aos ambientes naturais, como a partir do estabelecimento das funções do solo e indicadores a ela associados, foram eficientes em refletir a variação da qualidade do solo, nos diferentes ambientes do Pantanal. Portanto, os mesmos são passíveis de adoção no monitoramento da sustentabilidade de sistemas de produção.

7 Referências Bibliográficas

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W.J.; LACERDA, M.P.C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p.1099-1108, set./out. 2007.

BURGER, J.A. Limitations of bioassays for monitoring forest soil productivity: rationale and exaple. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 60, n.6, p.1674-1678, 1996.

CADAVID GARCIA, E.A. **Estudo técnico-econômico da pecuária de corte do Pantanal Mato-Grossense**. Corumbá: EMBRAPA-CPAP, 1986. p.126-127. (EMBRAPA-CPAP. Documentos, 4).

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, p.935-944, set./out. 2003.

CHAER, G.M.; TÓTOLA, M.R. Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCS, 2003. 1 CD-ROM.

CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 20, p.777-788, set./out. 2005.

CORREIA, M.E.F. Fauna do solo, microrganismos e matéria orgânica como componentes da qualidade do solo em sistema de pastejo intensivo. In: PEIXOTO, A.M.; MORA, J.C.; FARIA, V.P. SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 14., 1999, Piracicaba. **Anais...** Fundamentos do pastejo rotacionado. Piracicaba: FEALQ, 1999. p.39-53.

D'ANDRÉA, A.F. **Atributos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo no sul de Goiás**. 2001. 106 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.3-21. (SSSA Special Publication, 35).

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do SISVAR (Sistema par análise de variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO DA BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., São Carlos, 2000. **Anais...** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2000. p.255-258.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture Ecosystems and Environment**, New York, v. 79, p.9-16, 2000.

KARLEN, D.L.; STOTT, D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. IN: DORAN, J.W., COLEMAN, D.C.,

BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.53-72. (SSSA Special Publication, 35).

KENNEDY, A.C.; PAPENDICK, R.I. Microbial characteristics of soil quality. **Journal of Soil and Water Conservation**, Iowa, v.50, p.243-248, 1995.

LAL, R.; MILLER, F.P. Soil quality and its management in humid subtropical and tropical environments. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 17., 1993, Palmerston North. **Proceedings..** . Palmerston North: New Zealand Grassland Association, 1993. p.1541-1555

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Ed.). **Defining Soil Quality for a Sustainable Environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.37-52. (SSSA Special Publication, 35).

MALAVOLTA, E. Fertilidade dos solos da Amazônia. In: VIEIRA, L.S.; SANTOS, P.C.T.C. (Ed.). **Amazônia: seus solos e outros recursos naturais**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1987. p.374-416.

MELO FILHO, J.F.; SOUZA, A.L.V.; SOUZA, L.S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo Amarelo coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p.1599-1608, nov./dez. 2007.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1103-1110, nov. 2004.

NEVES, C.M.N.N.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; CARDOSO, E.L.; MACEDO, R.L.G.; FERREIRA, M.M.; SOUZA, F.S. Atributos indicadores da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 74, p. 45-53, jun. 2007.

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. In: ALVAREZ, V.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F. de; MELLO, J.W.V. de; COSTA, L.M. da. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p.195-276.

TRANNIN, I.C.B.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p.1173-1184, set./out. 2007.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A preocupação de toda a sociedade com a conservação dos recursos naturais tem sido crescente nos últimos anos, especialmente em relação a áreas como o Pantanal Mato-Grossense, reconhecido como uma das maiores extensões úmidas contínuas do planeta e onde se desenvolve uma fauna e flora de rara beleza e abundância. Porém, diante da globalização da economia e mercados competitivos, o Pantanal tem enfrentado grande pressão política, econômica e social diante da necessidade de compatibilizar aumentos de produtividade com a conservação ambiental. O presente estudo evidenciou que a tentativa de aumento da produtividade da pecuária pantaneira através dos desmatamentos para implantação de pastagem cultivada provocou expressiva redução da qualidade do solo, com perspectivas preocupantes para a sustentabilidade futura desses sistemas de pastagem cultivada. Haja vista que ambientes de floresta nativa, notadamente aqueles estabelecidos em solos de baixa fertilidade natural, como o caso do Pantanal, têm sua manutenção fortemente associada ao conteúdo de matéria orgânica e ao equilíbrio entre a cobertura vegetal e os processos biogeoquímicos do solo decorrentes. Embora o sistema de pastejo contínuo das pastagens nativas também tenha contribuído para reduzir a qualidade do solo, mesmo em menor intensidade que na conversão da floresta nativa em pastagem cultivada, também merecem a mesma atenção quanto à sustentabilidade.

Contudo, como a maior parte do Pantanal é constituída de propriedades particulares, onde a pecuária de corte conduzida há mais de duzentos anos constitui a principal atividade econômica, a conservação e desenvolvimento sustentável dessa região devem ser compatibilizados através de tecnologias que promovam a maior competitividade dos sistemas de produção locais, bem como de instrumentos que permitam monitorar a sua sustentabilidade. Dessa forma, os índices de qualidade desenvolvidos no presente estudo, apesar de necessitarem

de aprimoramentos, foram eficientes em refletir as alterações na qualidade do solo promovidas pelos sistemas de pastagens, de tal forma, que foi possível identificar quais atributos e/ou funções do solo foram mais decisivos na alteração global da qualidade. Portanto, assim como outros indicadores econômicos, sociais e ambientais, o índice de qualidade do solo pode constituir-se em instrumento para auxiliar o monitoramento da sustentabilidade dos sistemas de produção do Pantanal, visto que permitem caracterizar uma situação atual, alertar para situações de risco e prever situações futuras. Esses índices podem ainda auxiliar na identificação do que está ocorrendo no sistema de manejo em curso, ou seja, se o manejo atual está contribuindo para aumentar ou diminuir a sustentabilidade do sistema de produção.