

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**CIÊNCIA DO SOLO**

**DISSERTAÇÃO**

**Avaliação de Atributos do Solo sob Diferentes  
Usos da Terra no Cerrado Goiano**

**Sidinei Julio Beutler**

**2012**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
CIÊNCIA DO SOLO**

**AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS DO SOLO SOB DIFERENTES  
USOS DA TERRA NO CERRADO GOIANO**

**SIDINEI JULIO BEUTLER**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Marcos Gervasio Pereira**

*e Co-orientação do Professor*  
**Adriano Perin**

Dissertação submetida como  
requisito parcial para obtenção do  
grau de **Mestre em Ciências**, no  
Curso de Pós-Graduação em  
Agronomia, Área de Concentração  
em Ciência do Solo

Seropédica, RJ  
Fevereiro de 2012

631.498173

B569a

T

Beutler, Sidinei Julio, 1987-

Avaliação de atributos do solo sob diferentes usos da terra no cerrado goiano / Sidinei Julio Beutler – 2012.

58 f.: il.

Orientador: Marcos Gervasio Pereira.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia.

Bibliografia: f. 49-58.

1. Solos – Goiás (Estado) - Análise – Teses. 2. Pastagens – Manejo – Goiás (Estado) - Teses. 3. Solos – Teor de compostos orgânicos – Teses. 4. Solos – Teor de fósforo – Teses. 5. Fertilidade do solo – Teses. 6. Rotação de cultivos agrícolas – Teses. 7. Cerrados – Goiás (Estado) – Teses. I. Pereira, Marcos Gervasio, 1965- II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO**

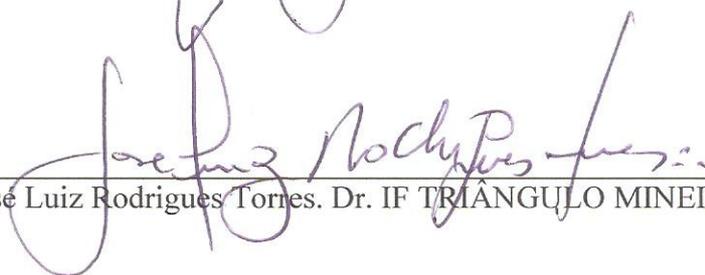
**SIDINEI JULIO BEUTLER**

Dissertação submetida ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências** em Agronomia.

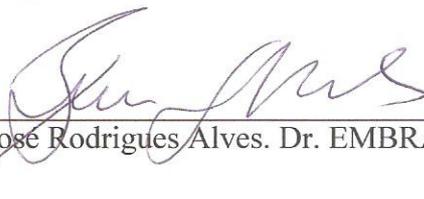
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 23/02/2012.



Marcos Gervasio Pereira. Dr. UFRRJ  
Orientador



José Luiz Rodrigues Torres. Dr. IF TRIANGULO MINEIRO



Bruno José Rodrigues Alves. Dr. EMBRAPA AGROBIOLOGIA



## **DEDICATÓRIA**

*Aos meus pais Marli Sirlene Heimann Beutler e Valério Beutler,  
aos meus irmãos Cheila e Claiton,  
aos familiares, amigos,  
e a meus tutores.*

*Dedico*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus por conceder a vida e todos os recursos para a sua existência e me fornecer esta oportunidade como um dos maiores desafios.

Aos meus pais Valério Beutler e Marli Sirlene Heimann Beutler por sempre me apoiarem nas decisões e serem os importantes motivadores para que eu sempre buscasse os meus objetivos. Pelas grandes lições de vida me dadas, e suas experiências.

Aos meus irmãos Cheila e Claiton por me proporcionarem grandes momentos juntos, sempre com diversão e descontração.

A todos os meus parentes por serem importantes coadjuvantes no incentivo e na busca dos ideais, das conversas, dos conselhos e de suas experiências.

Ao professor e orientador Marcos Gervasio Pereira por todo apoio, atenção e paciência fornecido para superar as dificuldades na elaboração deste e de outros trabalhos. Por ser também um grande amigo de trabalho, através de sugestões e conselhos.

Ao professor e co-orientador Adriano Perin, por seu apoio na escolha das áreas de estudo, além das sugestões e auxílio técnico prestado na elaboração deste trabalho.

À professora Lúcia Helena Cunha dos Anjos por sempre ser uma das pessoas que me proporcionou grandes momentos de convívio, além de todo o seu conhecimento técnico e de vida transmitidos.

Ao professor Arcângelo Loss por sempre estar me apoiando e contribuindo para o aperfeiçoamento dos diversos trabalhos desenvolvidos em conjunto. E também pela amizade e grandes momentos de descontração.

A todos os alunos e estagiários do Laboratório de Gênese e Classificação do Solo, pelo apoio, amizade e experiências. Aos funcionários do Departamento de Solos, Maria Helena, Roberto e Marquinhos, pela grande eficiência nos trabalhos e pela amizade.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos, e ao CNPq, a Fundação Agrisus e FAPERJ pelo auxílio financeiro deste projeto.

Agradecimento especial a todos os professores e aos colegas de turma pelos seus ensinamentos e experiências compartilhadas.

## **BIOGRAFIA**

Sidinei Julio Beutler nasceu no município de Salgado Filho - PR, no dia 28 de dezembro de 1987. Em 2004 concluiu o curso Técnico Agrícola com Habilitação em Agropecuária na Escola Agrotécnica Federal de Concórdia – SC (atual IFET – Concórdia). Em 2005 ingressou no curso de graduação em Engenharia Agrônômica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, concluindo-o em 2009. Durante o período de graduação foi bolsista de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq) no período de agosto de 2007 a julho de 2009. E no período de agosto a dezembro de 2009 exerceu a monitoria da disciplina de Aptidão Agrícola e Manejo dos Solos desta instituição. Em março de 2010 ingressou no Mestrado no curso de Pós-graduação em Agronomia - Ciência do Solo, na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

## RESUMO

BEUTLER, Sidinei Julio. **Avaliação de atributos do solo sob diferentes usos da terra no Cerrado Goiano**. 2012. 58f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

O sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) associado ao plantio direto vem se destacando como uma importante alternativa de produção agrícola, visando eficiência do uso da terra e a conservação do solo através da manutenção da matéria orgânica. O objetivo deste estudo foi avaliar o padrão dos atributos da matéria orgânica do solo (MOS) e do fósforo orgânico (Po) em áreas de integração lavoura-pecuária e pastagem no Cerrado de Goiás, Brasil. Coletaram-se as amostras de terra e resíduos vegetais em três áreas, sendo: pastagem de *Urochloa decumbens* com 15 anos de implantação; ILP com 13 anos de rotação anual com *Urochloa ruziziensis*; e Cerrado nativo como área comparativa. Foram avaliados a densidade do solo (Ds), carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total do solo (Nt), nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20, e 20-40 cm; e estabilidade de agregados, frações húmicas da MOS, matéria orgânica leve (MOL), frações granulométricas, respirometria de CO<sub>2</sub>, fósforo remanescente (Prem) e as frações de Po, nas camadas de 0-5 e 5-10 cm. Foram determinados  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  do solo e das frações granulométricas da MOS, e também o  $\delta^{13}\text{C}$  dos resíduos vegetais. Os maiores valores de estabilidade de agregados, COT, Nt, massa de MOL, frações físicas e granulométricas e Po foram observados na área de Cerrado. A área de pastagem apresentou os maiores valores de respirometria de CO<sub>2</sub>. As áreas de ILP e pastagem mostraram algumas semelhanças em grande parte dos atributos avaliados. A densidade do solo na camada superficial (0-5 cm) foi semelhante nas três áreas. A estabilidade de agregados na área de ILP foi mais afetada na camada de 0-5 cm. Na área de ILP quantificaram-se valores de COT e N semelhantes e/ou maiores em todas as camadas de 0 a 40 cm de profundidade, em comparação à pastagem. As áreas de ILP e pastagem apresentaram menor fixação de P nas camadas de 0-5 e 5-10 cm. A área de ILP apresentou os maiores valores das formas inorgânicas de P. O Po-H (Po moderadamente lábil) apresentou relação com as taxas de respirometria de CO<sub>2</sub>. A massa de MOL foi um importante indicador de manejo da MOS. O  $\delta^{15}\text{N}$  se mostrou aplicável em estudos para compreensão do grau de humificação da MOS. O fracionamento granulométrico da MOS foi mais sensível para identificar variações na disponibilidade da MOS em comparação ao fracionamento químico. Os resíduos com maior relação C/N apresentaram maiores taxas de respirometria de CO<sub>2</sub>. As pastagens bem manejadas e com alguns anos de cultivo possuem potencial para transformar o P inorgânico em fontes orgânicas deste nutriente. As frações da MOS (físicas e químicas) e as frações orgânicas de P apresentaram relação com as áreas menos antropizadas.

**Palavras-chave:** Rotação de culturas. Integração lavoura-pecuária. Pastagem.

## ABSTRACT

BEUTLER, Sidinei Julio. **Evaluation of soil attributes under different land usages in the Cerrado of Goiás.** 2012. 58p. Dissertation (Master Science in Agronomy - Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

The system crop-livestock integration (CLI), associated with the no-tillage has being highlighted as an important alternative for agriculture, aiming the land usage efficiency and soil conservation by maintaining organic matter. The objective of this study was to evaluate the pattern of soil organic matter (SOM) and organic phosphorus (Po) attributes in areas of crop-livestock system and pasture in the Cerrado of Goiás State, Brazil. Soil samples and crop residues were collected in three areas, namely: *Urochloa decumbens* pasture with 15 years of implantation; CLI with 13 years of annual rotation with *Urochloa ruziziensis*; and native vegetation, used as a comparative area. Soil bulk density (Ds), total organic carbon (TOC) and total nitrogen (Nt) were evaluated in samples taken at 0-5, 5-10, 10-20, and 20-40 cm depths; and aggregate stability, humic fractions of SOM, light organic matter (LOM), granulometric fractions, respirometry CO<sub>2</sub>, remaining phosphorus (Prem) and fractional Po from samples taken at 0-5 and 5-10 cm depths. They were determined  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  in the soil and in the fractions of SOM, and also the  $\delta^{13}\text{C}$  of plant residues. The highest values of aggregate stability, TOC, Nt, mass MOL, physical and granulometric fractions of SOM and Po were observed in the Cerrado area. The pasture area showed the highest CO<sub>2</sub> respirometry. The CLI and pasture areas showed similarities in most of the attributes. Soil bulk density in the surface layer (0-5 cm) was similar in the three areas. The aggregate stability in the CLI area was affected most in the 0-5 cm. In the CLI area the quantified values of TOC and N were similar and/or higher in all layers from 0 to 40 cm depth, when compared to pasture. The CLI and pasture areas had lower P fixation in the 0-5 and 5-10 cm layers. The CLI area had the highest values of P inorganic forms. The Po-H (moderately labile Po) was related to the CO<sub>2</sub> respirometry rates. The mass of LOM was an important indicator of SOM management. The  $\delta^{15}\text{N}$  proved appropriate in studies concerning the degree of SOM humification. The granulometric fractionation of SOM was more sensitive to identify variations in the SOM availability compared to the chemical fractionation. The residues with highest C/N ratios showed highest rates of CO<sub>2</sub> respirometry. The well managed pastures, with more years of cultivation showed potential to transform the inorganic phosphorus into organic sources of this nutrient. The SOM fractions (physical and chemical) and the organic P fractions were associated with the least disturbed areas.

**Keywords:** Crop rotation. Crop-livestock integration. Grassland.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Textura do solo nas diferentes profundidades em área de pastagem, ILP e Cerrado, em Montividiu – GO.....	20
<b>Tabela 2.</b> Valores de densidade do solo (Ds) em área de pastagem, ILP e Cerrado, em Montividiu – GO. ....	21
<b>Tabela 3.</b> Diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados em áreas de pastagem, ILP e Cerrado, em Montividiu – GO.....	22
<b>Tabela 4.</b> Valores de pH, nutrientes e hidrogênio+alumínio nas diferentes profundidades em áreas de pastagem, ILP e Cerrado, em Montividiu – GO.....	24
<b>Tabela 5.</b> Fitomassa existente em áreas com diferentes sistemas de manejo do solo em Montividiu – GO. ....	25
<b>Tabela 6.</b> Teores totais de fósforo, potássio, cálcio e magnésio na serapilheira e nos resíduos vegetais das áreas com diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado Goiano. ....	26
<b>Tabela 7.</b> Carbono, nitrogênio, $\delta^{13}\text{C}$ , e relação C/N dos resíduos vegetais e serapilheira em diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado Goiano. ....	26
<b>Tabela 8.</b> Carbono orgânico total, nitrogênio e relação carbono/nitrogênio em diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado Goiano.....	29
<b>Tabela 9.</b> Massa de matéria orgânica leve (M-MOL) em água sob diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado Goiano. ....	30
<b>Tabela 10.</b> Valores de carbono (C), nitrogênio (N) e relação C/N da matéria orgânica leve (MOL) do solo em áreas de diferentes sistemas de manejo.....	31
<b>Tabela 11.</b> Contribuição de carbono das frações físicas granulométricas em relação ao carbono orgânico total sob diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado Goiano. ....	32
<b>Tabela 12.</b> Contribuição de nitrogênio das frações físicas granulométricas em relação ao nitrogênio total sob diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado Goiano. ....	33
<b>Tabela 13.</b> Relação carbono/nitrogênio (C/N) das frações físicas granulométricas do solo em diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado Goiano. ....	33
<b>Tabela 14.</b> Abundância natural de $^{13}\text{C}$ na matéria orgânica leve (MOL), matéria orgânica particulada (MOP) e no solo sob diferentes áreas de manejo no Cerrado Goiano. ....	34
<b>Tabela 15.</b> Abundância natural de $^{15}\text{N}$ na matéria orgânica leve (MOL), matéria orgânica particulada (MOP) e no solo sob diferentes áreas de manejo no Cerrado Goiano. ....	35
<b>Tabela 16.</b> Frações húmicas do solo em diferentes sistemas de manejo no Cerrado Goiano. ....	36
<b>Tabela 17.</b> Valores totais de $\text{CO}_2$ emitidos após 52 dias de incubação em agregados de diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado Goiano.....	39

<b>Tabela 18.</b> Fósforo remanescente nas diferentes camadas em área de pastagem, ILP e Cerrado, em Montividiu – GO.....	39
<b>Tabela 19.</b> Teores de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) extraível com bicarbonato de sódio (bic) (P lábil). ....	40
<b>Tabela 20.</b> Teores de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) extraível em solução ácida (H) (P moderadamente lábil).....	41
<b>Tabela 21.</b> Teores de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) extraível em solução alcalina (OH) (P moderadamente resistente).....	42
<b>Tabela 22.</b> Resumo do fracionamento do fósforo orgânico do solo em diferentes sistemas de manejo no Cerrado Goiano. ....	42
<b>Tabela 23.</b> Correlação de Pearson dos atributos de matéria orgânica e fósforo orgânico em solos sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado Goiano. ....	46

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização do município de Montividiu (GO) dentro do contexto geográfico brasileiro. .... 10
- Figura 2.** Normais climatológicas de pluviometria (série de 1997 à 2010) e temperatura média (série de 2003 à 2010), e pluviometria e temperatura média dos anos de 2009 e 2010 na região de Montividiu-GO. (Fonte: Estação Meteorológica da FESURV – Universidade de Rio Verde – GO. Latitude: 17° 48’S; Longitude: 50° 55’W, Rio Verde - GO). .... 11
- Figura 3.** Histórico dos usos da terra nas diferentes áreas avaliadas em Montividiu - GO. ILP: integração lavoura-pecuária; SPC: sistema de plantio convencional. .... 12
- Figura 4.** Área de pastagem de *Urochloa decumbens*, Stapf. Fotos: Marcos Gervasio Pereira. .... 13
- Figura 5.** Área de sistema plantio direto com cultivo de algodão (*Gossypium hirsutum* L.). Na figura à direita observa-se a palhada de milho. Fotos: Marcos Gervasio Pereira. .... 13
- Figura 6.** Área de Cerrado nativo. Fotos: Marcos Gervasio Pereira. .... 13
- Figura 7.** Distribuição da massa dos agregados nas diferentes peneiras após o processo de tamisamento. Letras iguais em cada classe de agregados não diferem entre as áreas avaliadas pelo teste de Tukey a 5 %. ns: não significativo ao teste F à 5 %. .... 23
- Figura 8.** Abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  em solos das áreas de pastagem, ILP e Cerrado nativo até 100 cm de profundidade. Média de três repetições. As barras de erros indicam os erros padrões das médias. ILP: sistema de integração lavoura-pecuária. .... 27
- Figura 9.** Respirometria de  $\text{CO}_2$  em agregados de diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado Goiano. ILP: integração lavoura-pecuária. A – profundidade de 0-5 cm e B – profundidade de 5-10 cm. .... 38
- Figura 10.** Análise de componentes principais (ACP) das frações físicas e químicas da matéria orgânica e as frações de fósforo do solo em diferentes sistemas de manejo no Cerrado Goiano. .... 44

## LISTA DE ABREVIACOES E SÍMBOLOS

<sup>12</sup> C:	isótopo estável de carbono (representa 98,94 % do carbono do planeta Terra)
<sup>13</sup> C:	isótopo estável de carbono (representa 1,06 % do carbono do planeta Terra)
<sup>13</sup> N:	isótopo sinttico de nitrogênio (tempo de meia vida de aproximadamente 10 minutos)
<sup>14</sup> C:	isótopo radioativo de carbono (tempo de meia vida de 5.730 anos)
<sup>14</sup> N:	isótopo estável de nitrogênio (abundância natural de 99,6337 %)
<sup>15</sup> N:	isótopo estável de nitrogênio (abundância natural de 0,3663 %)
ACP:	análise de componentes principais
AF:	cidos fúlvicos
AH:	cidos húmicos
Al:	alumínio
ANOVA:	análise de variância
Arg:	argila
BaCl <sub>2</sub> :	cloreto de bário
C/N:	carbono/nitrogênio
C:	carbono
C <sub>3</sub> :	mecanismo fotossintético normalmente encontrado em plantas dicotiledôneas
C <sub>4</sub> :	mecanismo fotossintético normalmente encontrado em plantas monocotiledneas
Ca:	cálcio
CaCl <sub>2</sub> :	cloreto de cálcio
C-CO <sub>2</sub> :	carbono sob forma de gás carbônico
CENA-USP:	Centro de Energia Nuclear na Agricultura – Universidade de São Paulo
C-MOL:	carbono fornecido ao solo através da matéria orgânica leve
C-MOM:	carbono fornecido ao solo através da matéria orgânica associada aos minerais
C-MOP:	carbono fornecido ao solo através da matéria orgânica particulada
CN-MOL:	relao carbono/nitrogênio da matéria orgânica leve
CN-MOM:	relao carbono/nitrogênio da matéria orgânica associada aos minerais
CN-MOP:	relao carbono/nitrogênio da matéria orgânica particulada
CN-S:	relao carbono/nitrogênio do solo
Co:	cobalto
CO <sub>2</sub> :	gás carbônico
COT:	carbono orgânico total
CV:	coeficiente de variao
DF:	Distrito Federal
DMG:	diâmetro médio geométrico
DMP:	diâmetro médio ponderado
Ds:	densidade do solo
EA:	extrato alcalino
EMBRAPA/CNPM:	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Monitoramento por Satélite

<b>Embrapa:</b>	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
<b>FAF:</b>	fração ácido fúlvico
<b>FAH:</b>	fração ácido húmico
<b>FESURV:</b>	Universidade de Rio Verde
<b>FS:</b>	fitomassa seca
<b>GO:</b>	Estado de Goiás
<b>H+Al:</b>	hidrogênio + alumínio
<b>H<sub>2</sub>O:</b>	fórmula molecular da água
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:</b>	ácido sulfúrico
<b>HCl:</b>	ácido clorídrico
<b>HClO<sub>4</sub>:</b>	ácido perclórico
<b>HUM:</b>	fração humina
<b>IBGE:</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>ILP:</b>	sistema integração lavoura-pecuária
<b>K:</b>	potássio
<b>Mg:</b>	magnésio
<b>MgCl<sub>2</sub>:</b>	cloreto de magnésio
<b>M-MOL:</b>	massa de matéria orgânica leve
<b>MO:</b>	matéria orgânica
<b>Mo:</b>	molibdênio
<b>MOL:</b>	matéria orgânica leve
<b>MOM:</b>	matéria orgânica associada aos minerais
<b>MOP:</b>	matéria orgânica particulada
<b>MOS:</b>	matéria orgânica do solo
<b>N:</b>	nitrogênio
<b>NaHCO<sub>3</sub>:</b>	bicarbonato de sódio
<b>NaOH:</b>	hidróxido de sódio
<b>N-MOL:</b>	nitrogênio fornecido ao solo através da matéria orgânica leve
<b>N-MOM:</b>	nitrogênio fornecido ao solo através da matéria orgânica associada aos minerais
<b>N-MOP:</b>	nitrogênio fornecido ao solo através da matéria orgânica particulada
<b>ns:</b>	não significativo
<b>Nt:</b>	nitrogênio total
<b>O<sub>2</sub>:</b>	gás oxigênio
<b>P.A.:</b>	pureza analítica
<b>PDB:</b>	Pee Dee Belemnite (rocha encontrada na Carolina do Sul – EUA, que é utilizada como referência internacional para estudos de isótopos de <sup>13</sup> C)
<b>Pdis:</b>	fósforo disponível
<b>Pdis:</b>	fósforo disponível
<b>pH:</b>	potencial de hidrogênio
<b>Pi:</b>	fósforo inorgânico
<b>Pi-bic:</b>	P inorgânico lábil (fósforo inorgânico extraível em bicarbonato de sódio)
<b>Pi-H:</b>	P inorgânico moderadamente lábil (fósforo inorgânico extraível em ácido sulfúrico)
<b>Pi-OH:</b>	P inorgânico moderadamente resistente (fósforo inorgânico extraível em hidróxido de sódio)
<b>Pit:</b>	fósforo inorgânico total do solo
<b>Po:</b>	fósforo orgânico

<b>Po-bic:</b>	P orgânico lábil (fósforo orgânico extraível em bicarbonato de sódio)
<b>Po-H:</b>	P orgânico moderadamente lábil (fósforo orgânico extraível em ácido sulfúrico)
<b>Po-OH:</b>	P orgânico moderadamente resistente (fósforo orgânico extraível em hidróxido de sódio)
<b>Pot:</b>	fósforo orgânico total do solo
<b>Prem:</b>	fósforo remanescente
<b>Pres:</b>	fósforo residual (P determinado na amostra após as três extrações sequenciais)
<b>PRNT:</b>	poder relativo de neutralização total
<b>Prof.:</b>	profundidade
<b>Pt:</b>	fósforo total do solo
<b>Pt-bic:</b>	P total lábil (fósforo total extraível em bicarbonato de sódio)
<b>Pt-H:</b>	P total moderadamente lábil (fósforo total extraível em ácido sulfúrico)
<b>Pt-OH:</b>	P total moderadamente resistente (fósforo total extraível em hidróxido de sódio)
<b>S:</b>	sul
<b>SAEG:</b>	Sistema para Análises Estatísticas
<b>SH:</b>	substâncias húmicas
<b>SP:</b>	Estado de São Paulo
<b>SPC:</b>	sistema de plantio convencional
<b>SPD:</b>	sistema de plantio direto
<b>TFSA:</b>	terra fina seca ao ar
<b>TR:</b>	taxa de recuperação
<b>W:</b>	oeste
<b>Zn:</b>	zinco
$\delta^{13}\text{C}$ :	delta <sup>13</sup> carbono
$\delta^{15}\text{N}$ :	delta <sup>15</sup> nitrogênio

## LISTA DE MEDIDAS E UNIDADES

<b>%:</b>	percentagem (medida de proporção em cada 100)
<b>°C:</b>	graus Celsius
<b>‰:</b>	por mil (medida de proporção em cada 1000)
<b>Arroba:</b>	unidade de massa que vem sendo considerada o equivalente à 15 kg
<b>cm<sup>3</sup>:</b>	centímetro cúbico (unidade de volume)
<b>g ha<sup>-1</sup>:</b>	gramas/hectare
<b>g kg<sup>-1</sup>:</b>	gramas por quilograma de solo
<b>g L<sup>-1</sup>:</b>	gramas/litro
<b>g:</b>	força da gravidade (aceleração de 9,81 m s <sup>-2</sup> )
<b>g:</b>	gramas (unidade de medida de massa)
<b>kg ha<sup>-1</sup>:</b>	quilogramas/hectare
<b>m:</b>	metro
<b>m<sup>2</sup>:</b>	metro quadrado (medida de área)
<b>mesh:</b>	malhas por polegada quadrada
<b>mg kg<sup>-1</sup>:</b>	miligrama/quilograma
<b>mg CO<sub>2</sub> · 100 g<sup>-1</sup>:</b>	miligramas de gás carbônico por 100 gramas de solo
<b>Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>:</b>	megagrama/hectare/ano
<b>Mg m<sup>-3</sup>:</b>	megagrama por metro cúbico
<b>min:</b>	minuto
<b>mL:</b>	mililitro
<b>mm mês<sup>-1</sup>:</b>	milímetro/mês
<b>mm:</b>	milímetros
<b>mol L<sup>-1</sup>:</b>	mol/litro
<b>nm:</b>	nanômetro (medida de comprimento equivalente à 10 <sup>-9</sup> m)
<b>rpm:</b>	rotações por minuto
<b>UA ha<sup>-1</sup>:</b>	unidade animal/hectare (uma UA equivale a 450 kg de peso vivo)
<b>µm:</b>	micrômetro (medida de comprimento equivalente à 10 <sup>-6</sup> m)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
2.1	Sistema de Integração Lavoura-Pecuária .....	3
2.2	Matéria Orgânica do Solo (MOS) .....	3
2.2.1	Fracionamento químico da MOS.....	4
2.2.2	Matéria orgânica leve (MOL).....	5
2.2.3	Fracionamento físico granulométrico da MOS .....	5
2.3	Isótopos Estáveis em Estudos da MOS (15N e 13C) .....	6
2.4	Respiração Microbiana (Evolução de C-CO <sub>2</sub> ).....	6
2.5	Estabilidade de Agregados .....	7
2.6	Fósforo Remanescente.....	8
2.7	Fósforo Orgânico do Solo .....	8
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>10</b>
3.1	Localização e Histórico das Áreas .....	10
3.2	Coleta e Preparo das Amostras .....	14
3.3	Análises Laboratoriais .....	14
3.3.1	Análises de fertilidade, granulometria e densidade do solo .....	14
3.3.2	Carbono, nitrogênio e variação isotópica <sup>13</sup> C/ <sup>12</sup> C e <sup>15</sup> N/ <sup>14</sup> N do solo e da serapilheira .....	14
3.3.3	Estabilidade de agregados .....	15
3.3.4	Fracionamento químico da MOS.....	15
3.3.5	Matéria orgânica leve em água.....	16
3.3.6	Fracionamento granulométrico da MOS .....	16
3.3.7	Respiração microbiana (evolução de C-CO <sub>2</sub> ).....	17
3.3.8	Fósforo remanescente .....	17
3.3.9	Fósforo orgânico.....	17
3.4	Análises Estatísticas .....	19
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>20</b>
4.1	Granulometria do Solo .....	20
4.2	Densidade do Solo .....	21
4.3	Estabilidade de Agregados .....	21
4.4	Fertilidade do Solo .....	23
4.5	Resíduos Vegetais Existentes .....	25
4.6	Origem da MOS (δ <sup>13</sup> C) .....	27
4.7	Carbono Orgânico Total e Nitrogênio .....	28
4.8	Matéria orgânica leve .....	30
4.8.1	Fracionamento físico granulométrico da MOS .....	31
4.8.2	δ <sup>13</sup> C e δ <sup>15</sup> N das frações físicas granulométricas.....	34
4.8.3	Frações húmicas .....	36

4.8.4	Respirometria de C-CO <sub>2</sub> (Evolução de C-CO <sub>2</sub> ).....	37
4.9	Fósforo Remanescente.....	39
4.10	Fracionamento do Fósforo Orgânico (Po).....	40
4.10.1	Po lábil.....	40
4.10.2	Po moderadamente lábil .....	40
4.10.3	Po moderadamente resistente .....	41
4.10.4	Po total.....	42
4.11	Interações da MOS e Po .....	43
4.11.1	ACP para MOS e Po.....	43
4.11.2	Correlação da MOS e Po .....	45
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>48</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, ocupando uma área de aproximadamente 204,7 milhões de hectares, representando em torno de 24 % da área total do país (IBGE, 2004). Está localizado na porção central do Brasil e engloba parte dos estados da Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Piauí, São Paulo, Tocantins, Rondônia, Pará, Roraima, e o Distrito Federal. Os extensos plantios de soja, milho, feijão, algodão e cana-de-açúcar predominam em regiões como: Luís Eduardo Magalhães, na Bahia; Jataí e Rio Verde, em Goiás; e Lucas do Rio Verde, Sorriso e Sinop, em Mato Grosso (Sano et al., 2008).

Segundo Sano et al. (2008), foram identificados 80 milhões de hectares sob diferentes usos da terra no Bioma Cerrado, o que corresponde a 39,5% da área total do Cerrado. As duas classes mais representativas de uso da terra são as pastagens cultivadas e as culturas agrícolas, ocupando em torno de 26,5 e 10,5 % da área do Cerrado, respectivamente. Já Machado et al. (2004), apontam que aproximadamente 55 % do bioma Cerrado já tenham sido convertidos em agricultura e pastagem.

De acordo com IBGE (2004), o estado de Goiás possui aproximadamente 97,0 % de sua área sob bioma Cerrado. Segundo Sano et al. (2008), o uso da terra chega a aproximadamente 55,0 % da área do estado de Goiás. Dentro deste valor, observa-se 27,7 % com culturas agrícolas, 71,0 % com pastagens cultivadas, e o restante sendo ocupado por áreas de plantios florestais e áreas urbanas.

Devido a uma relação entre clima tropical, relevo plano e suave ondulado, e material de origem encontrado nessas áreas, os solos dessa região são de forma geral, altamente intemperizados, com predomínio de óxidos, óxi-hidróxidos e hidróxidos de ferro e alumínio na fração argila, sendo caracterizados como solos de baixa fertilidade natural e de alta capacidade de adsorção de fósforo. No entanto, possuem boas características físicas, e boas condições para a manutenção das atividades biológicas. Essas características, associadas ao relevo plano e suave ondulado, e aos grandes avanços técnico-científicos no setor agropecuário, propiciaram o avanço da exploração agrícola destas áreas.

O sistema de plantio direto (SPD) consiste em um conjunto de técnicas que proporciona diversos benefícios ambientais e econômicos. Segundo Rally da Safra (2010), em questionário realizado para vários produtores de grãos de todo o país, constatou-se que os principais motivos para a adoção do sistema de plantio direto são: a conservação do solo (88 % dos produtores) e o aumento da produtividade (69 % dos produtores), sendo que muitos ainda citaram a redução dos custos (economia de energia). Ainda segundo Rally da Safra (2010), observou-se que 99 % dos produtores de grãos do país adotaram o SPD em suas lavouras, sendo que mais de 90 % destes utilizam o SPD em mais de 90 % de suas áreas de produção.

Em estudo realizado por Muzilli (1985), avaliando a fertilidade do solo observou-se que o SPD apresentou teores de fósforo (P), de quatro a sete vezes superiores aos encontrados no preparo convencional na camada de 0-5 cm, sugerindo a possibilidade de reduzir a adubação fosfatada no SPD devido ao aumento dos teores de P disponível. A redução da adubação fosfatada reforça a importância do SPD na dinâmica de fornecimento de fósforo do solo para as plantas sob condições de clima tropical.

A base do SPD está alicerçada no adequado manejo da matéria orgânica do solo (MOS), sendo a palhada a principal fonte de entrada do material orgânico no solo. A combinação de uma série de fatores ambientais (como precipitação e temperatura), intrínsecos

do solo (textura e mineralogia) e do tipo de material orgânico adicionado (relação C/N e teor de lignina) resultam em processos diferenciados na dinâmica da MOS.

A continuidade do emprego do SPD nessas áreas parece ser inquestionável, no entanto ainda são necessários mais estudos para avaliar as mudanças nos solos ao longo do tempo, por meio do entendimento das formas da matéria orgânica em diferentes ambientes. Em algumas situações são necessários pequenos ajustes locais e específicos na forma de condução do SPD, que podem ser fundamentadas pelo conhecimento mais profundo da MOS.

As áreas de pastagens bem manejadas apresentam grande capacidade de adição de matéria orgânica ao solo, podendo até mesmo superar os valores das áreas de vegetação nativa (Silva et al., 2004), portanto, podem ser boas áreas para a comparação do manejo da MOS sob diferentes formas de uso da terra.

Alguns estudos já abordaram a temática de SPD com a inclusão de pastagens no sistema de rotação de culturas. No entanto, este campo da pesquisa ainda possui muitas questões a serem esclarecidas. Desta forma este estudo visa fornecer subsídios técnico-científicos para o avanço do conhecimento e das pesquisas em matéria orgânica do solo e sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP), visando à conservação do solo. Além disso, também se espera contribuir no entendimento da dinâmica da MOS em sistemas de ILP no Cerrado, por meio do estudo dos diversos compartimentos e suas possíveis relações com o fósforo orgânico.

Os objetivos deste trabalho foram: quantificar os teores das diferentes frações da matéria orgânica do solo (MOS) em sistema de ILP, pastagem e Cerrado; determinar os teores de fósforo orgânico (Po) em diferentes profundidades nas áreas de ILP, pastagem e Cerrado; inferir possíveis relações entre os teores de P orgânico e as frações da MOS; e avaliar a taxa de emissão de carbono do solo por meio da determinação da respiração microbiana (C-CO<sub>2</sub>).

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Sistema de Integração Lavoura-Pecuária

O sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) é uma alternativa de produção agrícola que tem despertado interesse, e que em associação com o sistema de plantio direto possibilita uma maior sustentabilidade nos sistemas de produção de grãos e carne (principalmente bovina). Esse sistema permite diversificar as atividades econômicas na propriedade rural com o objetivo de aumentar a eficiência da produção de grãos e carne, e preservar o meio ambiente (Salton et al., 2001). Neste sistema o plantio consiste no cultivo consorciado de culturas anuais com espécies forrageiras, principalmente as braquiárias, em áreas agrícolas com terras parcialmente ou totalmente corrigidas (Salton et al., 2001).

As forrageiras do gênero *Urochloa* (braquiária) são as principais pastagens cultivadas na região Centro-Oeste, devido à sua adaptabilidade às condições edafoclimáticas da região, sua grande produção de fitomassa, relativa facilidade de eliminação e por não serem hospedeiras de patógenos das principais culturas (Kluthcouski et al., 2003).

A integração lavoura-pecuária em conjunto com o plantio direto merece destaque no contexto da necessidade de produção de alimentos e preservação do meio ambiente (Kluthcouski et al., 2003), principalmente em áreas propensas à degradação, visto que possibilita a manutenção e, ou, melhoria nos atributos físicos, químicos e biológicos dos solos.

Atualmente, no bioma Cerrado tem sido observado um aumento significativo na adoção de sistemas integrados de cultivo, como a ILP, os quais vêm exibindo considerável potencial de acúmulo de C no solo. No Brasil, a ILP já era praticada a vários anos em algumas regiões juntamente com sistemas convencionais de cultivo, porém, o caráter inovador é a introdução desse sistema no âmbito do sistema plantio direto (Paulino et al., 2006).

Os sistemas de ILP podem ser adotados com finalidades distintas, variando desde o ponto de vista da produção agrícola como da pecuária. A ILP, quando realizada em sistemas de produção de grãos e fibras, tem como principais objetivos a formação e manutenção de palhada para sustentabilidade do sistema plantio direto (SPD). De acordo com Kluthcouski et al. (2006), a utilização de gramíneas perenes em ILP, como as braquiárias, seja em consórcio, sucessão ou rotação com culturas anuais, pode minimizar a degradação do solo em razão do efeito benéfico dessas gramíneas nos atributos físicos deste e, ainda, resultar em aumento do estoque de C do solo e a redução das emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera.

### 2.2 Matéria Orgânica do Solo (MOS)

Dentre os componentes do solo, a matéria orgânica é aquele que mais se relaciona com os parâmetros de qualidade (físicos, químicos ou biológicos), potencializando características como a resistência do solo à erosão, taxa de infiltração e retenção de água no solo, capacidade de troca catiônica, estoque de nutrientes, resistência a perturbações e a atividade biológica (Vezzani, 2001; Mielniczuk et al., 2003).

A matéria orgânica do solo (MOS) pode ser estudada e compreendida através de diversas formas e técnicas analíticas. Tal fato reforça a busca pelo melhor entendimento da dinâmica desse compartimento nos sistemas agrícolas. O teor de carbono orgânico total (COT) depende, essencialmente, do aporte e do processo de decomposição e mineralização da MOS. Em contraste ao processo de degradação, ocorre concomitantemente, o processo de preservação, com alterações nos resíduos orgânicos, originando compostos coloidais

relativamente estáveis, com alto tempo médio de residência – as substâncias húmicas (Silva & Mendonça, 2007).

O COT pode ser utilizado como indicador do efeito de sistemas de manejo na qualidade do solo (Doran & Parkin, 1994; Conceição et al., 2005). Normalmente em solos sob pastagem natural, os teores de COT se mantêm estáveis ao longo do tempo, devido à igualdade entre as quantidades de carbono (C) adicionadas pelas plantas, e das perdas, principalmente por oxidação microbiana e erosão.

A adoção de sistemas de manejo conservacionistas pode favorecer a redução das perdas do COT do solo, por meio da manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo e proteção física da matéria orgânica em agregados de solo (Conceição et al., 2008). Dessa forma, estudos realizados na região do Cerrado têm demonstrado incremento nos estoques de C do solo em sistemas de ILP sob plantio direto, quando comparados aos teores observados em áreas sob SPD sem a presença de forrageira na rotação ou sucessão de cultivos (Carvalho et al., 2010).

Em estudo realizado por Salton (2005), no qual se avaliou as taxas de acúmulo de C em diferentes sistemas de uso e manejo da terra no Cerrado, o autor observou que os maiores estoques de C estão relacionados com a presença de forrageiras, resultando na seguinte ordem decrescente de estoques de C no solo: pastagem permanente > ILP sob plantio direto > lavoura em SPD > lavoura em cultivo convencional. Esse autor verificou que as taxas de acúmulo de C no solo nas áreas de ILP sob plantio direto, em relação a lavouras sob SPD, foram de até  $0,60 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , para estudos em Mato Grosso do Sul. Embora alguns resultados mostrem que a ILP sob SPD permite maior estoque de carbono no solo, ainda não se conhece como os compartimentos da MOS são alterados.

### **2.2.1 Fracionamento químico da MOS**

O fracionamento químico é uma técnica de separação de um dos grupos constituintes da matéria orgânica do solo (MOS), chamado de substâncias húmicas (SH). As substâncias húmicas representam a fração mais ativa da matéria orgânica do solo, e é uma mistura complexa de compostos orgânicos com natureza principalmente coloidal, apresentando propriedades ligeiramente ácidas e com grande interação com outros componentes do solo (Stevenson, 1994).

As substâncias húmicas são classificadas principalmente em três frações ou grupos químicos baseadas na sua solubilidade em meio ácido e meio alcalino: ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e huminas. Essas três frações são os principais constituintes do carbono total do solo, sendo a humina representada por cerca de 30 a 80% do total (Guerra & Santos, 1999).

Os ácidos fúlvicos são a fração das substâncias húmicas que são solúveis em meio alcalino e em meio ácido. Os ácidos húmicos são solúveis em meio alcalino e insolúveis em meio ácido. E as huminas são insolúveis em meios alcalino e ácido (Stevenson, 1994).

As SH podem compor mais de 80 % da MOS de um solo, representando uma das frações mais estáveis ou recalcitrantes da MOS, e por essa razão essas substâncias têm um importante papel nos aspectos físicos e químicos do solo (Segnini, 2007).

Dessa forma, a quantidade da matéria orgânica e a proporção das SH têm servido como indicadores de qualidade de solo, em razão da forte interação das substâncias húmicas com o material mineral e suas relações com o manejo do solo (Silva, 2005). Foi por esse motivo que Fontana et al. (2006), trabalhando com diferentes rotações de culturas sob SPD no Cerrado de Mato Grosso do Sul, observaram que a rotação gramínea/leguminosa contribuiu para a humificação e manutenção da MOS.

### 2.2.2 Matéria orgânica leve (MOL)

Entre os diferentes componentes da MOS, a matéria orgânica leve (MOL) é um dos atributos que podem contribuir para a caracterização e comportamento da MOS (Six et al., 2000), e as suas variações no solo são indicativos das alterações na dinâmica da MOS causadas pela mudança do manejo no solo (Janzen et al., 1992).

Segundo Gregorich et al. (1994), a MOL é uma fração da MOS que consiste de uma mistura heterogênea de resíduos recentes, restos de pequenos animais e microrganismos, podendo estar em diferentes estágios de decomposição.

A MOL é considerada uma fração ativa no solo que consiste de matéria orgânica parcialmente humificada e com um “turnover” curto de 25 anos, sendo delimitada por tamanho compreendido entre 0,25 e 2,0 mm, podendo ser separada por flotação em água (Anderson & Ingram, 1989).

A MOL nos solos constitui-se principalmente, de partes de plantas, embora resíduos de animais e microrganismos possam estar presentes em diversos estágios de decomposição (Ruivo et al., 2005). Além disso, esta fração pode desempenhar funções com proporções variadas em diferentes ambientes, ou seja, a sua participação pode ser mais acentuada em determinadas condições edafoclimáticas (Janzen et al., 1992).

A quantidade e a composição da MOL é relatada por vários estudos como o indicador mais sensível para caracterizar as formas mais apropriadas de manejo do solo (Bremer et al., 1995; Leite et al., 2003; Liebig et al., 2004; Koutika et al., 2005; Loss, 2008). Em relação à fração mais pesada da MOS, este material é relativamente inalterado, possui origem mais recente, apresenta maior relação C/N, menores  $\delta^{15}\text{N}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  (Compton & Boone, 2000), e idade mais jovem (comprovada por datação com  $^{14}\text{C}$ ) (Trumbore, 1993). Segundo Pereira et al. (2010), maiores quantidades de MOL, observadas em áreas de plantio direto com uso de plantas de cobertura, podem contribuir para reduzir a adsorção de fósforo no solo.

### 2.2.3 Fracionamento físico granulométrico da MOS

O fracionamento granulométrico é baseado no conceito de que as frações da MOS estão associadas com partículas de tamanho e composição mineralógica diferentes, diferem em estrutura e função, e cumprindo papéis específicos na reposição da MOS no solo (Christensen, 1992).

O fracionamento granulométrico da MOS (Cambardella & Elliott, 1992) consiste na separação de duas frações orgânicas: a matéria orgânica particulada (MOP) e a matéria orgânica associada a fração mineral (MOM). A MOP é a fração da MOS separada por dispersão e peneiramento do solo associada à fração areia (MOP > 53  $\mu\text{m}$ ), sendo caracterizada como partículas derivadas de resíduos de plantas e hifas com estruturas celulares reconhecíveis, cuja permanência no solo está condicionada à proteção física desempenhada por agregados (Golchin et al., 1994).

A MOM foi definida por Christensen (1996) como a fração da MOS que interage com a superfície de partículas minerais, formando os complexos organominerais, que estão protegidos através da proteção coloidal. Esta proteção é maior nos microagregados do que nos macroagregados (Buyanovsky et al., 1994). A estabilidade da MOS pela associação com a fração mineral é resultante da formação de ligações estáveis da MOS com os cátions metálicos e os minerais do solo (Martin Neto et al., 1996).

As frações obtidas correspondentes ao tamanho silte e areia (> 53  $\mu\text{m}$ ) constituem as mais dinâmicas e mais sensíveis ao manejo. As frações inferiores a 53  $\mu\text{m}$  são consideradas como material orgânico associado aos componentes minerais do solo, formando complexos organominerais, de modo que sua sensibilidade ao manejo é bastante reduzida (Roscoe et al., 2006).

### 2.3 Isótopos Estáveis em Estudos da MOS (15N e 13C)

Os métodos isotópicos tem contribuído muito para o entendimento da dinâmica da MOS em sistemas agrícolas, principalmente em estudos do ciclo de carbono (C) e nitrogênio (N). Estes elementos apresentam formas quimicamente estáveis e radioativas. Para os estudos de MOS o carbono e nitrogênio são importantes tanto nas formas estáveis ( $^{12}\text{C}$  e  $^{13}\text{C}$ , e  $^{14}\text{N}$  e  $^{15}\text{N}$ ), quanto as instáveis ( $^{14}\text{C}$  e  $^{13}\text{N}$ ).

O carbono da MOS provém dos vegetais que o capturam da atmosfera através da fotossíntese na forma de  $\text{CO}_2$ . Durante esse processo observa-se uma significativa distribuição isotópica com intensidades diferenciadas entre plantas com mecanismo fotossintético  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  (Farquhar et al., 1982). As plantas com ciclo  $\text{C}_3$  (maioria das dicotiledôneas) discriminam mais intensamente o  $^{13}\text{C}$ , apresentando uma abundância isotópica que varia de -20 a -34 ‰ (média de -27 ‰), e as plantas  $\text{C}_4$  (maioria das gramíneas) discriminam menos, apresentando valores que variam de -9 a -17 ‰ (média de -13 ‰) com relação ao padrão internacional PDB (Pee Dee Belemnite), sendo que o ar atmosférico apresenta -8 ‰ (Smith & Epstein, 1971). Desse modo é possível identificar a origem do C do solo e assim, compreender a dinâmica de diferentes fontes de matéria orgânica no solo (Balesdent et al., 1987).

Normalmente os estudos visando as alterações e dinâmica da MOS por meio da origem do carbono, são realizadas em estudos de substituição de vegetação de florestas ( $\text{C}_3$ ) por pastagens de gramíneas ( $\text{C}_4$ ), como é o caso de alguns estudos na Amazônia, que possuem objetivo de avaliar o tempo que o carbono remanescente das florestas irá permanecer na área de pastagem (Bernoux et al., 1999; Fernandes et al. 2007).

As variações no  $^{15}\text{N}$  nos vegetais estão entre -10 e +10 ‰, tendo-se como padrão o valor de  $^{15}\text{N}$  do ar (0,3663 ‰), e é variável em função dos processos fisiológicos, associações com microorganismos, as diferentes fontes de N usadas na agricultura e pela demanda de N pelas plantas (Hogberg, 1997).

Grande parte dos estudos envolvendo a técnica isotópica de  $^{15}\text{N}$  vem sendo aplicada em estudos para comparar a eficiência da fixação biológica de N em leguminosas e da fertilização nitrogenada (Piccolo et al., 1994) e também para avaliar a eficiência de fixação biológica em gramíneas (Silva et al., 2010).

Em grande parte dos ecossistemas o N da MOS está enriquecido em  $^{15}\text{N}$  quando comparado com o  $\text{N}_2$  atmosférico (Karamanos et al., 1981). Os processos de nitrificação e desnitrificação alteram o  $\delta^{15}\text{N}$  proveniente da fonte orgânica fornecidos ao solo, que consequentemente, podem aumentar os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  com o aumento da profundidade do solo (por meio da humificação da MOS) e nos resíduos vegetais com estado mais avançado de decomposição (Nadelhoffer & Fry, 1988). E também existem alguns processos que podem resultar na redução do  $\delta^{15}\text{N}$  em maiores profundidades (Boddey et al., 2000).

### 2.4 Respiração Microbiana (Evolução de C-CO<sub>2</sub>)

A respiração é um dos mais antigos parâmetros para quantificar a atividade microbiana do solo (Moreira e Siqueira, 2002). Segundo Parkin et al. (1996), o termo "respiração microbiana" refere-se à produção de  $\text{CO}_2$  ou consumo de  $\text{O}_2$  como resultado dos processos metabólicos de microrganismos como bactérias, fungos, algas e protozoários, e sua avaliação costuma ser feita em laboratório sob condições controladas.

Ainda segundo Parkin et al. (1996), a respiração do solo pode indicar dois aspectos opostos na relação entre a matéria orgânica (MO) e a qualidade do solo, sendo que a longo prazo, a perda de MO pode ser vista como um resultado negativo da respiração do solo, porém, no curto prazo, ela representa a transformação da MOS e a liberação de nutrientes. Sob o ponto de vista agrícola, é importante destacar a necessidade de buscar o melhor entendimento da respiração microbiana nos diferentes sistemas produtivos.

A respiração microbiana, dentre outros atributos biológicos do solo, pode ser considerada como um indicador de manejo do solo, sendo possível adotá-la para o monitoramento de alterações ambientais decorrentes do uso agrícola, e o posterior planejamento e avaliação das práticas de manejo, visando à sustentabilidade do solo (Doran & Parkin, 1996; D'Andréa et al., 2002).

Apesar do crescente interesse em aspectos relacionados ao funcionamento biológico do solo sob sistemas naturais e agrícolas, estudos sobre o impacto de diferentes sistemas de manejo na população e na atividade microbiana em solos de Cerrado são recentes (D'Andréa et al., 2002; Mendes et al., 2003) e ainda pouco conclusivos.

Alguns autores realizaram estudos de respiração microbiana no sul de Goiás (Brasil), entre eles, D'Andréa et al. (2002). Estes autores compararam a respiração microbiana entre as áreas de Cerrado nativo, pastagem, plantio direto, plantio direto com histórico de gradagem superficial, plantio convencional de longa duração e plantio convencional recente após pastagem, sobre um Latossolo Vermelho Distrófico típico textura argilosa. Os autores observaram que a respiração microbiana apresentou maiores valores nas áreas de plantio direto, possivelmente, devido ao maior aporte de matéria orgânica proporcionado por este sistema de manejo. Resultados semelhantes também foram encontrados por Costa et al., (2006), em um estudo de comparação entre sistema de plantio direto e sistema de preparo convencional. Dessa forma é possível inferir que áreas de sistema ILP também apresentem esta tendência, já que a inclusão da braquiária em sistemas de rotação de culturas tem mostrado resultados de melhoria nos atributos físicos (Marchão et al., 2007), químicos (Fonseca et al., 2007) e biológicos do solo (Salton et al., 2001; Silva et al., 2006).

## **2.5 Estabilidade de Agregados**

As diferentes formas de manejo promovem alterações nas propriedades do solo. Entre elas, destaca-se a estrutura que está relacionada com a agregação (Wendling et al., 2005). São vários os agentes que podem alterar a estabilidade dos agregados, sendo que a associação entre o uso intensivo e as práticas inadequadas de manejo do solo são os principais fatores que levam à desagregação do solo. Entre os fatores, pode-se mencionar a redução dos teores de matéria orgânica do solo, que está diretamente relacionada com os menores índices de estabilidade de agregados (Tisdall & Oades, 1982; Salton et al., 2008), e também as diferentes formas de manejo (Castro Filho et al., 1998).

Práticas conservacionistas que promovem menor revolvimento do solo e propiciem um maior aporte de resíduos orgânicos, geralmente têm-se mostrado eficientes em aumentar a estabilidade dos agregados (Carpenedo & Mielniczuk, 1990). Desta forma, as práticas do sistema plantio direto (SPD) e da integração lavoura-pecuária (ILP) podem contribuir para a melhoria da estabilidade dos agregados, sendo possível sustentar um sistema de produção sem queda de rendimentos na produtividade, e que concilie a conservação do solo.

Segundo Roth et al. (1991), a redução da estabilidade de agregados causa o selamento superficial, reduz a infiltração de água e, conseqüentemente, induz à enxurrada e à erosão do solo. Por isso, a estabilidade de agregados tem sido usada como indicador de qualidade do solo (Wendling et al., 2005).

A vegetação é um fator importante na formação de agregados, mediante a ação mecânica das raízes ou pela excreção de substâncias com ação cimentante, e isto, indiretamente, fornece nutrientes à fauna do solo (Kiehl, 1979). O tipo de vegetação também interfere na agregação dos solos, ou seja, as gramíneas são mais eficientes em aumentar e manter a estabilidade de agregados do que as leguminosas (Carpenedo & Mielniczuk, 1990). Assim, espera-se que o sistema de ILP proporcione melhorias na agregação dos solos, já que este sistema geralmente adota gramíneas forrageiras (exemplo: braquiária).

Sistemas de preparo de solo associados à rotação de culturas influenciam a estabilidade e o tamanho de agregados, conforme relatam Salton et al. (2008). Esses autores verificaram que em Mato Grosso do Sul houve significativa elevação do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados estáveis em água quando o plantio direto foi associado à rotação de culturas, fato que não se repetiu quando o sistema de preparo foi conduzido em ausência da rotação. Salton et al. (2008), observaram que quando uma das culturas do sistema é a pastagem (sistema de ILP), esses efeitos ocorrem de forma acentuada e relativamente rápida, provavelmente devido ao abundante sistema radicular formado pela pastagem logo após sua implantação.

## **2.6 Fósforo Remanescente**

A determinação do P remanescente (quantidade de P adicionada que fica na solução de equilíbrio após um tempo de contato com o solo) tem sido utilizada para determinar a capacidade máxima de adsorção de fosfatos. Dessa forma, o P remanescente se presta muito bem como medida para estimar os níveis críticos das formas disponíveis de P como função do P adicionado ao solo (Alvarez & Fonseca, 1990; Novais & Smyth, 1999).

As principais características do solo que influenciam a adsorção de P são: mineralogia das argilas, o conteúdo de colóides amorfos não cristalinos e o teor de matéria orgânica (Novais & Smyth, 1999). De maneira geral, a adsorção de fósforo geralmente é alta nos solos com elevado teor de argila, altamente intemperizados e baixos teores de matéria orgânica (Camargo et al., 2010). A matéria orgânica do solo pode desempenhar um papel ambivalente, já que tanto pode adsorver o P como também bloquear os sítios de adsorção que ocorrem nas superfícies das argilas e óxidos de ferro e alumínio (Ibia & Udo, 1993).

A adoção de sistemas de manejo que propiciem um incremento no teor de MOS podem promover a redução da adsorção de P, pela formação de complexos que bloqueiam os sítios de adsorção na superfície dos óxidos de ferro e de alumínio (Tirloni et al., 2009). Provavelmente este tenha sido o padrão verificado por Pereira et al. (2010), onde os autores avaliaram a matéria orgânica leve (MOL) e o fósforo remanescente (Prem) em diferentes sistemas de manejo no Cerrado. Os autores observaram que em áreas sob plantio direto e com o uso de plantas de cobertura do solo, os maiores teores de MOL reduziram a adsorção de fósforo no solo.

Alguns trabalhos mostram que a aplicação de ácidos húmicos, antes e simultânea com o fosfato, reduzem a sua adsorção no solo (Andrade et al., 2003; Antelo et al., 2007). Em estudo realizado por Fontana et al. (2008) no Cerrado de Mato Grosso do Sul sob SPD, observou-se que a sucessão gramínea/leguminosa (ou vice-versa) contribui para a redução da adsorção de P, principalmente pelo efeito do ácido fúlvico e da humina.

## **2.7 Fósforo Orgânico do Solo**

O fósforo (P) é encontrado no solo em duas formas principais: inorgânica e orgânica. As formas de P inorgânico compreendem, principalmente, aquelas adsorvidas aos grupos funcionais dos colóides inorgânicos, por meio de ligações monodentadas, bidentadas e binucleadas (Parfitt, 1978) com elevada energia de ligação. As formas orgânicas de P (Po) representam os íons fosfatos ligados aos compostos orgânicos, e sua labilidade está diretamente relacionada à suscetibilidade de decomposição do radical orgânico ao qual o fosfato está ligado (Stewart & Tiessen, 1987).

Os solos tropicais e subtropicais, de modo geral, possuem limitações no fornecimento de nutrientes para as culturas, principalmente o fósforo. Devido a isto, muitos estudos têm sido realizados sobre o fósforo inorgânico no solo, procurando-se alguma solução viável econômica e ambiental para o problema em questão. Assim, em um campo científico paralelo,

despertou-se o interesse pelo estudo do fósforo orgânico no solo, devido à crescente preocupação com a sustentabilidade dos sistemas produtivos (Rheinheimer et al., 2008b).

Os métodos tradicionais de determinação de fósforo no solo somente fornecem os teores de fósforo lábil. O fósforo orgânico contribui para esses valores, porém seu valor total não é diagnosticado pelos métodos convencionais. As frações de fósforo orgânico podem compor de 5 a 80 % do fósforo total na camada de 0-20 cm, podendo atingir mais de 90 % em solos de altitude (Machado et al., 1993).

Segundo Gatiboni et al. (2005), em solos adubados, a contribuição do P orgânico para a nutrição das plantas foi de 6 %, e aumentou para 43 % no solo sem adição de fertilizantes minerais. Assim, quanto mais baixos forem os teores de P disponível no sistema, maior é a dependência das formas orgânicas.

O acúmulo de formas orgânicas de fósforo nos solos, principalmente nos mais ácidos e argilosos, ou seja, condições que limitam a disponibilidade deste nutriente nos trópicos, pode ser de grande importância para a agricultura nos trópicos, sobretudo para a agricultura de baixa utilização de insumos. Esse acúmulo de modo geral, faz com que o conteúdo de Po nos solos mais intemperizados varie em torno de 50 %, sendo maior nos solos argilosos, com maior teor de carbono orgânico, menor pH e sob temperaturas mais amenas (Turner et al., 2003). Por isso acredita-se na possibilidade de que as plantas o aproveitem como fonte de nutrientes, como citado por vários autores, entre eles Rheinheimer et al. (2008a). Entretanto, os resultados encontrados não têm permitido a formulação de conclusões consistentes.

A matéria orgânica do solo (MOS) possui uma ciclagem intensa em solos intemperizados de clima tropical, sendo, portanto, uma importante fonte de nutrientes para as plantas (Moreira & Siqueira, 2002). Deste modo, a dinâmica do Po está diretamente associada à dinâmica da MOS (Solomon et al., 2002; Cunha et al., 2007a).

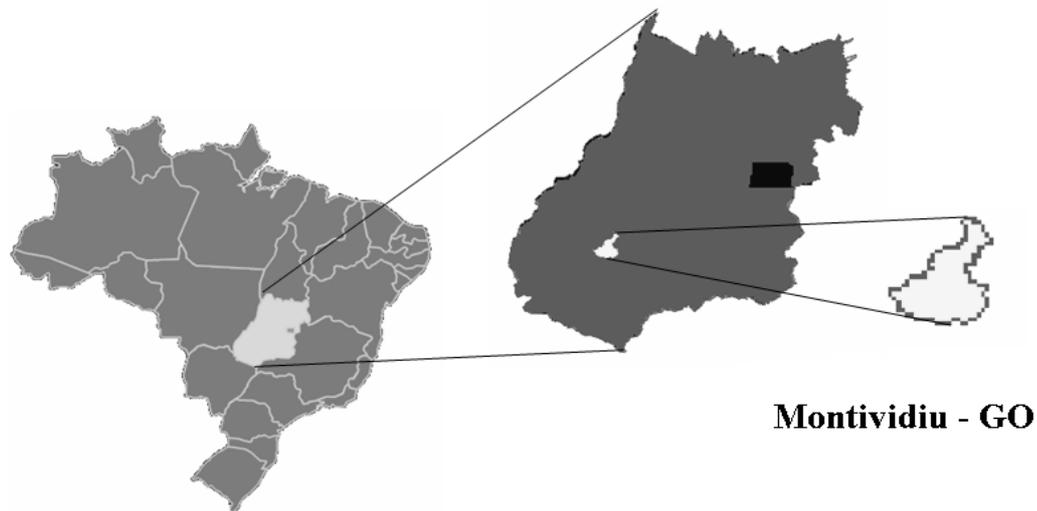
Os métodos mais difundidos para a determinação do fósforo orgânico são os propostos por Hedley et al. (1982) e por Bowman & Cole (1978b), sendo este último adaptado por Bowman (1989). O método proposto por Hedley et al. (1982), é amplamente difundido, consistindo em adição seqüencial de extratores de menor à maior força de extração, permitindo a remoção do fósforo inorgânico (Pi) e orgânico (Po), e das formas mais disponíveis às mais estáveis.

Outro método bastante estudado é o de Bowman & Cole (1978b), que após as modificações de Bowman (1989) passou a ser considerado simples, rápido e de boa reprodutibilidade (Guerra, 1993). Atualmente alguns trabalhos têm proposto a utilização de uma metodologia conjunta de Bowman & Cole (1978b) e Bowman (1989) (Guerra, 1993; Duda, 2000). Dessa forma, é possível extrair as frações de P lábil, moderadamente lábil, moderadamente resistente e resistente. As formas de P são extraídas de acordo com o grau de disponibilidade do P para as plantas, a partir dos diferentes extratores  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e  $\text{NaOH}$ . As frações do Po são obtidas pela diferença entre o P total (Pt) e o P inorgânico (Pi) obtidos em cada extrator. De acordo com Novais & Smith (1999), as alterações dessas formas de P com o manejo, ao longo dos cultivos estão sendo estudadas para avaliar a sustentabilidade da produtividade agrícola nos sistemas.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e Histórico das Áreas

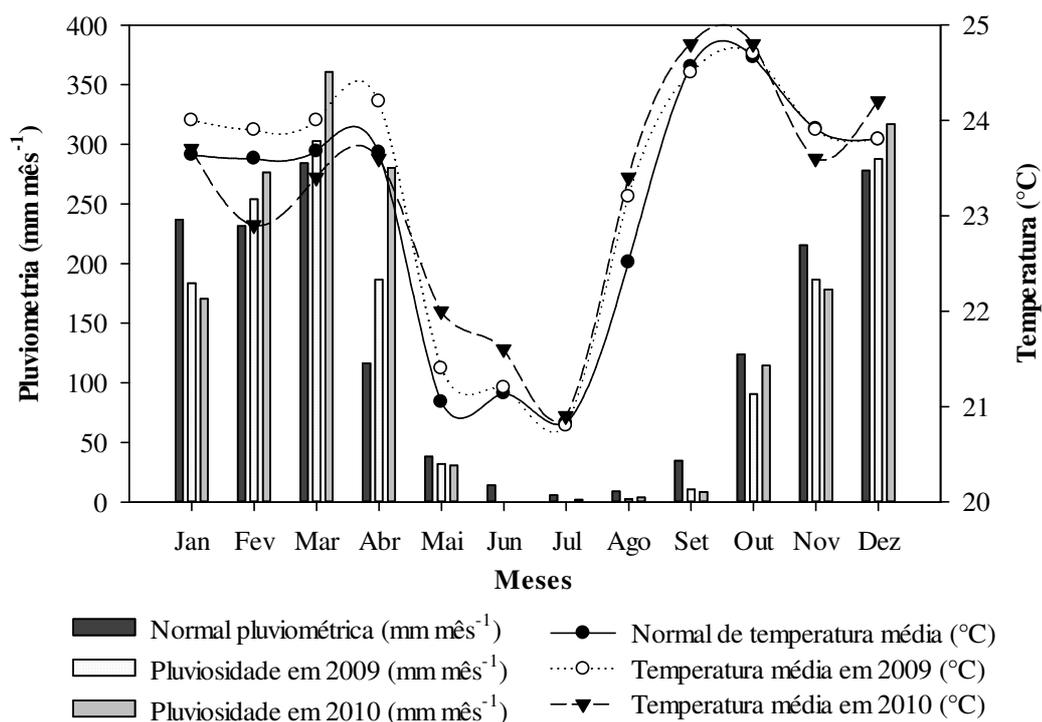
O estudo foi conduzido no município de Montividiu – GO, na Fazenda Vargem Grande, pertencente à empresa Agropecuária Peeters (macrorregião de Rio Verde – GO) (Figura 1). A coleta foi realizada em três diferentes áreas, consistindo em uma área de lavoura (S – 17° 19' 35,5" e W – 51° 29' 29,7"; com 961 m de altitude) sob sistema de plantio direto com integração lavoura-pecuária (ILP) com 13 anos de implantação; uma área de pastagem de *Urochloa decumbens* Stapf (S – 17° 22' 04,5" e W – 51° 29' 52,7"; com 946 m de altitude) com 15 anos de implantação; e uma área de Cerrado intacto (S – 17° 22' 12,2" e W – 51° 29' 49,8"; com 942 m de altitude) como área comparativa. O solo das áreas de estudo recebeu a mesma classificação de Latossolo Vermelho (Embrapa, 2006).



**Figura 1.** Localização do município de Montividiu (GO) dentro do contexto geográfico brasileiro.

A média anual da precipitação pluviométrica da região de Rio Verde e Montividiu é de 1700 mm, e a temperatura média anual é de 22,5 °C, com épocas chuvosa e seca (EMBRAPA/CNPM, 2011). Os meses com menores precipitações pluviométricas ocorrem entre maio e setembro, o que pode ser observado através da normal climatológica da região de Montividiu-GO (Figura 2).

Na Figura 2 é ilustrado o padrão climático no ano anterior à coleta (2009) e também do ano de 2010 (a coleta foi realizada em abril de 2010). Por meio destas informações é possível observar, que o período de 2009 e 2010 apresentou-se com um volume de chuvas normalmente acima da média, principalmente nos meses de dezembro a abril.



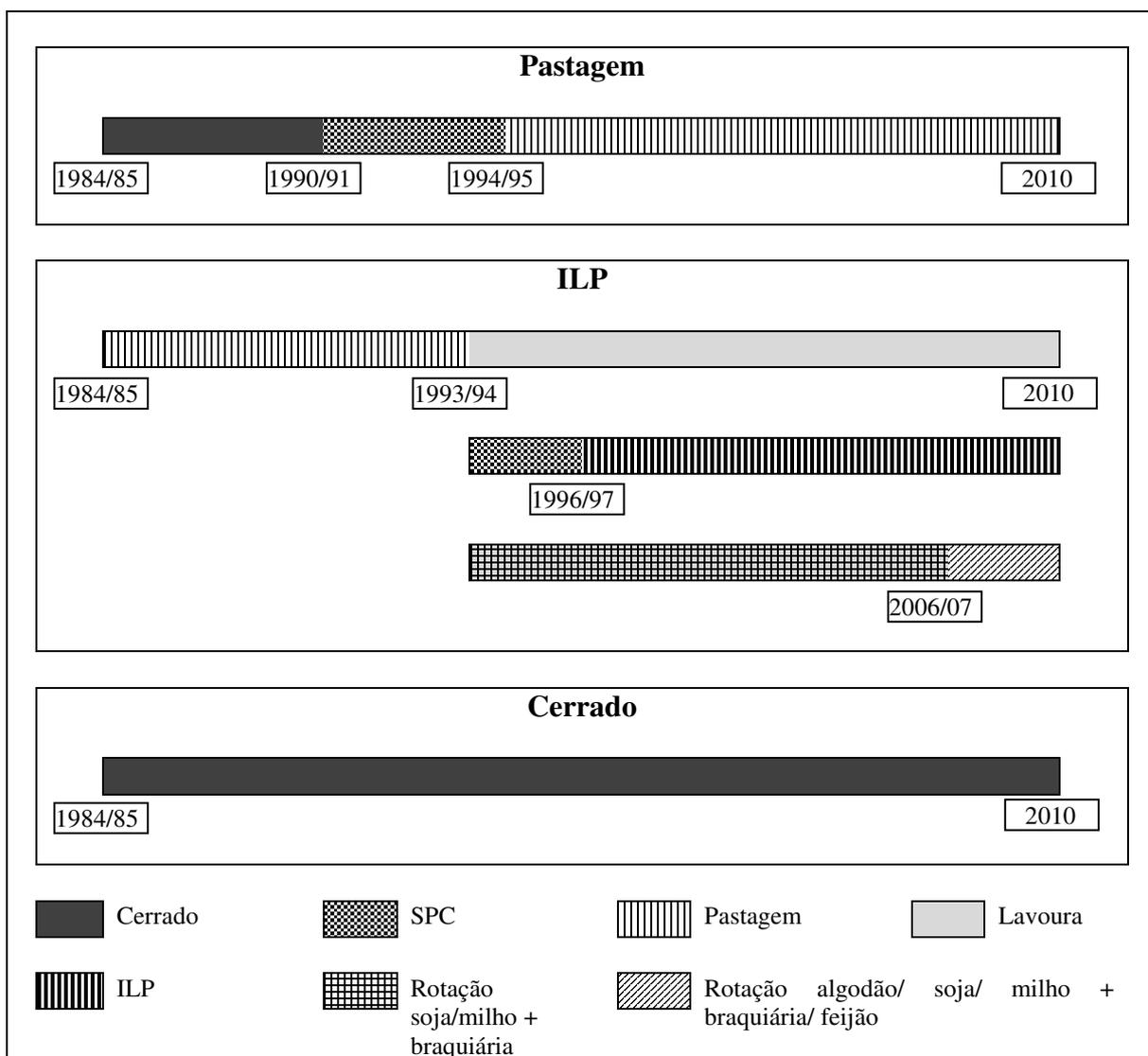
**Figura 2.** Normais climatológicas de pluviosidade (série de 1997 à 2010) e temperatura média (série de 2003 à 2010), e pluviosidade e temperatura média dos anos de 2009 e 2010 na região de Montividiu-GO. (Fonte: Estação Meteorológica da FESURV – Universidade de Rio Verde – GO. Latitude: 17° 48’S; Longitude: 50° 55’W, Rio Verde - GO).

A área de lavoura (Figura 5) vem sendo usada para produção há 26 anos (desde a safra 1984/85); anteriormente essa área era composta por vegetação nativa (Cerradão) (Figura 3). Quando a área passou a ser explorada, implantou-se pastagem de braquiária (*Urochloa decumbens* Stapf) para a criação de bovinos de corte, a qual permaneceu por um período de 10 anos (1984/85 a 1993/94). Após esse período, a área passou a ser explorada por lavouras, consistindo em um período de uso de 16 anos (1994/95 a 2009/10). Nos primeiros 3 anos após a pastagem (1994/95 a 1996/97), utilizou-se o sistema convencional de preparo do solo. Após esse período implantou-se o sistema de plantio direto na área (1997/98 a 2009/10), que atualmente soma 13 anos de uso (Figura 3).

Como descrito anteriormente, os últimos 16 anos foi o período no qual explorou-se a área com lavouras (1994/95 a 2009/10). Desse período, os 13 primeiros anos (1994/95 a 2006/07) a área foi sempre utilizada com rotação de culturas, sendo cultivada soja no período do verão (entre outubro e fevereiro) e milho safrinha (entre fevereiro e junho). Juntamente com o plantio do milho safrinha, era semeada *Urochloa ruziziensis* (Germain et Evrard) para o aumento da produção de palhada, sendo essa utilizada para o pastejo de bovinos de corte no período seco (junho à setembro), consistindo assim, em um sistema de integração lavoura-pecuária (Figura 3).

A partir da safra 2007/2008 introduziram-se novas culturas no sistema de rotação, cultivando-se algodão entre novembro de 2007 e agosto de 2008. Na safra 2008/2009 cultivou-se soja, e posteriormente milho safrinha juntamente com *Urochloa ruziziensis* para elevar a produção de palhada, e realizar o pastejo de bovinos de corte no período seco (ILP). Na safra 2009/2010 houve o cultivo de feijão entre setembro e dezembro, e em seguida

algodão (entre dezembro de 2009 e agosto de 2010). A coleta das amostras foi realizada quando o algodão encontrava-se na área (abril de 2010). Destaca-se que sempre que o milho safrinha foi cultivado, fez-se o consórcio com braquiária.



**Figura 3.** Histórico dos usos da terra nas diferentes áreas avaliadas em Montividiu - GO. ILP: integração lavoura-pecuária; SPC: sistema de plantio convencional.

A área de pastagem (Figura 4) é composta exclusivamente por *Urochloa decumbens* Stapf., e está estabelecida há 15 anos (desde 1995). A área era ocupada pela vegetação nativa (Cerradão) (Figura 3), e em 1990/91 iniciou-se a exploração agrícola com cultivos de arroz e soja sob sistema convencional, por um período de 5 anos (safras 1990/91 à 1994/95) (Figura 3). Nesse período, esta área recebeu as últimas aplicações de adubos minerais e calcário. Após a implantação da pastagem, não foram mais empregados fertilizantes e corretivos na área. Durante o pastejo dos animais a lotação animal da pastagem é de aproximadamente 1,4 UA ha<sup>-1</sup> (unidade animal ha<sup>-1</sup>), sempre se evitando a superlotação animal.

A área de Cerrado (Figura 6) foi adotada como área comparativa, sendo um parâmetro para a discussão dos valores observados nas áreas antropizadas.



**Figura 4.** Área de pastagem de *Urochloa decumbens*, Stapf. Fotos: Marcos Gervasio Pereira.



**Figura 5.** Área de sistema plantio direto com cultivo de algodão (*Gossypium hirsutum* L.). Na figura à direita observa-se a palhada de milho. Fotos: Marcos Gervasio Pereira.



**Figura 6.** Área de Cerrado nativo. Fotos: Marcos Gervasio Pereira.

O manejo da adubação das culturas na área de ILP vem sendo o mesmo ao longo dos anos, porém cada cultura recebe uma dosagem específica. Assim, as dosagens e formulações de cada cultura são as seguintes:

- Soja: 360 kg ha<sup>-1</sup> de 02:20:18 + 20 g ha<sup>-1</sup> de Mo + 6 g ha<sup>-1</sup> de Co (plantio);
- Milho + braquiária: 320 kg ha<sup>-1</sup> de 08:20:20 + 0,6 % Zn (plantio) + 60 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio aproximadamente 40 dias após a emergência do milho;
- Feijão: 400 kg ha<sup>-1</sup> de 05:20:10 (plantio) + 40 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio a aproximadamente 28 dias após a emergência;
- Algodão: 550 kg ha<sup>-1</sup> de 10:30:10 (plantio) + 200 kg ha<sup>-1</sup> de 20:00:20 a aproximadamente 40 dias após a emergência.

A última calagem foi realizada em 2007, aplicando-se 3,0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, com PRNT de 82 %, para elevar-se a saturação de bases a 60 %.

Até a última safra a média da produtividade observada na área de ILP são as seguintes: soja: 3.840 kg ha<sup>-1</sup>; milho safrinha consorciado com braquiária: 5.922 kg ha<sup>-1</sup>; feijão: 2.520 kg ha<sup>-1</sup>; e algodão: 312,0 arrobas ha<sup>-1</sup>.

Após a colheita do milho, realiza-se o pastoreio de bovinos de corte, aproveitando-se os resíduos do milho e a pastagem de braquiária. Os bovinos permanecem na área entre os meses de julho e setembro, somando aproximadamente 70 dias. A lotação animal nesse período é de aproximadamente 8,0 UA ha<sup>-1</sup>.

### **3.2 Coleta e Preparo das Amostras**

A coleta de todas as amostras de solo e os resíduos vegetais foi realizada em abril de 2010. Para a determinação da estabilidade de agregados e da respirometria de CO<sub>2</sub> foram coletadas as amostras nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm, com 5 repetições. A coleta das amostras de agregados foi realizada com o auxílio de espátula. Após a coleta as amostras foram passadas por peneiras de 8 e 4 mm respectivamente. Os agregados retidos na peneira de 4 mm foram acondicionados em sacos plásticos e transportados para o laboratório.

Para as análises químicas de rotina, nitrogênio total (Nt), fósforo remanescente, carbono orgânico total (COT) e fracionamento químico da MOS, as amostras foram coletadas nas profundidades de 0-5 cm; 5-10 cm; 10-20 cm; e 20-40 cm, com 5 amostras compostas para cada profundidade, sendo cada amostra composta formada a partir de 3 simples. Para as análises de fracionamento granulométrico da MOS e fósforo orgânico foram usadas estas mesmas amostras, porém somente as das camadas de 0-5 e 5-10 cm.

Para a coleta das amostras de solo para a determinação do δ<sup>13</sup>C e da densidade foram abertas três trincheiras em cada área até 100 cm de profundidade. Foram coletadas amostras indeformadas com o uso de um anel de Kopeck nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-60; 60-80; e 80-100 cm.

A serapilheira na área de Cerrado e os resíduos vegetais nas áreas de pastagem e ILP foram coletados por meio de um quadro metálico com dimensões de 0,50 x 0,50 m (0,25 m<sup>2</sup>), com 5 repetições. A massa coletada na área do quadro foi levada para laboratório e secada a 65 °C por 72 horas em estufa de circulação de ar forçada. Após secas, as amostras foram pesadas e estimada a sua massa, sendo essa expressa em Mg ha<sup>-1</sup>. Posteriormente as amostras foram trituradas e procedeu-se a digestão sulfúrica para a determinação de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (Tedesco et al., 1995).

### **3.3 Análises Laboratoriais**

#### **3.3.1 Análises de fertilidade, granulometria e densidade do solo**

As determinações do cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), potássio (K), e alumínio trocável; fósforo disponível (Pdis); hidrogênio + alumínio trocáveis (acidez total); o pH; e a densidade do solo foram realizadas de acordo com os métodos propostos pela Embrapa (1997). Na análise granulométrica foi usado o método da pipeta (Embrapa, 1997).

#### **3.3.2 Carbono, nitrogênio e variação isotópica <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C e <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N do solo e da serapilheira**

As amostras de solo e serapilheira foram previamente maceradas em gral de porcelana e passadas por peneira de 100 mesh (150 μm). Neste material determinou-se o carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (Nt) e a relação isotópica <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C e <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N (relação <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N somente para solo) Estes procedimentos foram realizados com auxílio de um analisador elementar acoplado a um espectrômetro de massa “Carlo Erba/Delta Plus”, no

Laboratório de Ecologia Isotópica (CENA-USP) em Piracicaba (SP). Os resultados da variação isotópica do carbono foram expressos na forma  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) em relação ao padrão internacional PDB (Pee Dee Belemnite), e para o nitrogênio na forma  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) em relação ao ar atmosférico (0,3663 ‰).

### 3.3.3 Estabilidade de agregados

Para a determinação da distribuição das classes de agregados, foi utilizado o tamisamento via úmida, sendo adotado o método proposto por Kemper & Chepil (1965), no qual empregou-se o aparelho preconizado por Yoder (1936). O princípio de funcionamento deste método consiste em oscilações de uma haste na qual estão presentes as amostras, onde estas imergem e afloram da água em movimentos lentos, sucessivos e constantes por um período de 15 minutos.

Foram pesados 25 g de cada amostra, sendo posteriormente umedecidas lentamente com auxílio de um atomizador manual. Após isso, as amostras foram passadas para o aparelho de Yoder adaptado com peneiras de malhas de 2,0; 1,0; 0,5; 0,25; e 0,105 mm de abertura. A umidade residual foi determinada utilizando-se uma amostra adicional.

Após o término do processo de tamisamento, o conteúdo retido em cada uma das peneiras foi secado em estufa a 105 °C, durante 72 horas, e em seguida pesado. A classe menor do que 0,105 mm estimou-se por diferença, tomando-se o peso inicial, menos a umidade residual, e o peso das demais classes como base. Todos esses procedimentos foram realizados conforme Embrapa (1997).

Calculou-se o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG) de acordo com as equações a seguir:

$$\text{DMP} = \sum i^{-1} (w_i d)$$

$$\text{DMG} = \text{antilog } \frac{\sum (n \log d)}{\sum n}$$

onde n é a porcentagem de agregados nas diversas classes de peneiras; d é o valor médio dos limites, superior e inferior, de cada classe (mm);  $w_i$  é a proporção de cada classe, em relação ao total (g).

### 3.3.4 Fracionamento químico da MOS

As substâncias húmicas (ácidos húmicos - FAH, ácidos fúlvicos - FAF e humina) foram identificadas segundo a Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (Swift, 1996), conforme técnica adaptada e apresentada por Benites et al. (2003).

Pesou-se uma massa de solo igual a 1,0 g, submetendo-se ao contato com 20 mL de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> por 24 horas. A separação entre o extrato alcalino (EA = FAF + FAH) e o resíduo foi realizada por centrifugação a 5000 rpm (2.940 g) por 30 minutos. Realizou-se mais uma lavagem com a mesma solução anterior, juntou-se o extrato com o anteriormente obtido, resultando em volume final de aproximadamente 40 mL. O resíduo foi retirado dos tubos da centrífuga, acondicionados em placa de petri e secados a 65 °C (secagem completa). O pH do extrato alcalino (EA) foi ajustado a 1,0 ( $\pm 0,1$ ) com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20 %, seguido de decantação por 18 horas em geladeira. O precipitado (FAH) foi separado da fração solúvel (FAF) por filtragem e ambos os volumes aferidos a 50 mL, com água destilada.

A quantificação do carbono orgânico nas frações FAF e FAH foi feita usando-se alíquotas de 5,0 mL de extrato, 1,0 mL de dicromato de potássio 0,042 mol L<sup>-1</sup> e 5,0 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, em bloco digestor a 150 °C (30 min) e titulado com sulfato ferroso amoniacal 0,0125 mol L<sup>-1</sup>. No resíduo seco em estufa (HUM), foi determinado o carbono orgânico adicionando-se 5,0 mL de dicromato de potássio 0,1667 mol L<sup>-1</sup> e 10,0 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, em bloco digestor a 150 °C (30 min) e titulado com sulfato ferroso amoniacal 0,25 mol L<sup>-1</sup> e indicador ferroin (Yeomans & Bremner, 1988).

Quantificaram-se os teores de carbono orgânico na fração ácidos fúlvicos (FAF), fração ácidos húmicos (FAH) e humina (HUM).

### 3.3.5 Matéria orgânica leve em água

Foram pesados 50 g de terra fina seca ao ar (TFSA) e acondicionados em becker de 250 mL, adicionando-se 100 mL de solução de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>, deixando-se em repouso por 16 horas. Decorrido o tempo, a suspensão foi agitada com bastão de vidro e todo o material passado por peneira de 0,25 mm, eliminando-se toda a fração argila e silte (Anderson & Ingram, 1989). Posteriormente, o material retido na peneira (MOL e areia) foi transferido, quantitativamente para o becker, completando-se o volume com água. Todo o material flotado foi passado por peneira de 0,25 mm, tomando-se cuidado para separar a MOL da fração areia. Em seguida, foi adicionado novamente água ao becker, agitando-se manualmente para ressuspender a MOL restante e verter o material vagarosamente em peneira de 0,25 mm. Essa operação foi repetida até que todo o material que flutuou com a agitação em água foi removido. O material que ficou retido na peneira (MOL) foi transferido para recipientes de alumínio (previamente pesados em balança de precisão 0,0001 g), levado a estufa a 65 °C até atingir peso constante (72 horas), sendo pesado todo o conjunto. Posteriormente, foram determinados os teores de C e N, contidos na massa da MOL, pelo método de combustão a seco, em um autoanalisador de C e N, a 900°C (CHN-600 Carlo Erba EA-1110, Itália). Também determinou-se o δ<sup>13</sup>C (‰) e δ<sup>15</sup>N (‰) da MOL como descrito no item 3.3.2. Com os dados de peso da MOL e dos teores de carbono e nitrogênio, procedeu-se para cada elemento uma correção como segue abaixo:

$$\text{Teor de C da MOL corrigido (g kg}^{-1}\text{)} = \frac{\text{C da MOL (g kg}^{-1}\text{)} \times \text{MOL no solo (g kg}^{-1}\text{)}}{1000}$$

Para o nitrogênio procedeu-se da mesma forma, somente substituindo-se os valores do carbono pelos de nitrogênio. Após a correção obtiveram-se os valores de carbono e nitrogênio fornecidos ao solo sob a forma de MOL.

### 3.3.6 Fracionamento granulométrico da MOS

Foram pesados 20 g de TFSA, adicionados 60 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L<sup>-1</sup>) e em seguida agitados durante 15 horas em agitador horizontal (Cambardella e Elliot, 1992). Depois de agitada, a suspensão foi passada em peneira de 53 μm com auxílio de jato de água, com o objetivo de remover toda a argila e silte. O material retido na peneira, que consiste da matéria orgânica particulada (MOP) associada à fração areia, foi seco em estufa a 60 °C, sendo posteriormente quantificado a sua massa, moído em gral de porcelana e analisado em relação ao teor de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio (N) em autoanalisador à 900 °C (CHN-600 Carlo-Erba EA-1110, Itália). Também se determinou o δ<sup>13</sup>C (‰) e δ<sup>15</sup>N (‰) da MOP como descrito no item 3.3.2. O material que passou pela peneira de 53 μm, que consiste na matéria orgânica associado aos minerais (MOM) das frações silte e argila, foi obtido por diferença entre o COT e MOP, porém procedeu-se uma correção. Após a análise dos teores de COT e N na MOP procedeu-se um cálculo com a percentagem de material retido na peneira de 53 μm como segue abaixo:

$$\text{Teor de C da MOP corrigido (g kg}^{-1}\text{)} = \frac{\text{C da MOP (g kg}^{-1}\text{)} \times \text{MOP no solo (g kg}^{-1}\text{)}}{1000}$$

Para o nitrogênio procedeu-se da mesma forma, somente substituindo-se os valores do carbono pelos valores de nitrogênio. Após a correção do C e N da MOP, calculou-se o C e N da matéria orgânica associada aos minerais (MOM) através da diferença entre os teores de COT do solo e MOP para carbono, e N total do solo e N da MOP para nitrogênio.

Após a correção dos valores de carbono e nitrogênio da MOP e MOL, procedeu-se uma nova correção para o fracionamento físico da MOS, sendo da seguinte forma:

$$[\text{C-MOP corrigido (g kg}^{-1}\text{)}] - [\text{C-MOL corrigido (g kg}^{-1}\text{)}] = \text{C-MOP (g kg}^{-1}\text{) ajustado}$$

Ao final obteve-se três frações físicas da MOS, sendo as seguintes:

- C-MOL: carbono da matéria orgânica leve em água;
- C-MOP: carbono da matéria orgânica particulada;
- C-MOM: carbono da matéria orgânica associada aos minerais.

Para os cálculos do fracionamento físico do nitrogênio adotou-se o mesmo procedimento.

### 3.3.7 Respiração microbiana (evolução de C-CO<sub>2</sub>)

O procedimento adotado para esta avaliação foi o método proposto por Curl & Rodriguez-Kabana (1972) e Stotzky (1965) descrito por Mendonça e Matos (2005). Em vidros de 500 cm<sup>3</sup> foi colocado um recipiente com 50 g de agregados entre 8 e 4 mm com umidade ajustada para 60 % da capacidade de campo, e adicionado um recipiente com 30 mL de água e outro com 30 mL de hidróxido de sódio (NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup>) para captar o CO<sub>2</sub>. Os vidros foram hermeticamente fechados e incubados por 52 dias a 25 °C. A determinação do CO<sub>2</sub> evoluído foi feita por titulação com HCl 0,25 mol L<sup>-1</sup> em presença de excesso de BaCl<sub>2</sub>.

As determinações do CO<sub>2</sub> foram feitas da seguinte forma: do 1° ao 8° dia foi realizada todos os dias; do 8° ao 28° dia em intervalos de dois dias; e do 28° ao 52° dia a cada quatro dias. Todas as determinações foram realizadas no mesmo horário. Os resultados foram expressos em mg CO<sub>2</sub> · 100 g<sup>-1</sup> de agregados. Os resultados foram apresentados em intervalos de 4 dias, e também se apresentou a soma total de CO<sub>2</sub> após os 52 dias de incubação.

### 3.3.8 Fósforo remanescente

O fósforo remanescente (Prem) foi determinado segundo Alvarez & Fonseca (1990). Colocou-se 5 g de TFSA em contato por 16 horas com solução de CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>, contendo 60 mg L<sup>-1</sup> de fósforo. Decorrido o período de repouso, pipetou-se uma alíquota da solução de equilíbrio e determinou-se a concentração de fósforo, utilizando-se o método do azul de molibdato e ácido ascórbico (Murphy & Riley, 1962), modificado por Braga & Defelipo (1974).

### 3.3.9 Fósforo orgânico

Para a determinação das frações orgânicas e inorgânicas totais do P do solo procedeu-se de acordo com o método proposto por Bowman (1989), e separadamente, as frações lábeis (extração com bicarbonato de sódio 0,5 mol L<sup>-1</sup> à pH 8,5) de acordo com Bowman & Cole (1978a), com modificações realizadas por Duda (2000).

Neste trabalho fez-se uma adaptação, a qual consistiu em uma extração sequencial do fósforo nas amostras de solo desde o extrator bicarbonato de sódio (NaHCO<sub>3</sub>) até o último extrator hidróxido de sódio (NaOH).

A primeira extração foi realizada com uma solução de NaHCO<sub>3</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup> com pH 8,5. Inicialmente pesou-se 1,00 g de TFSA em tubos modelo Falcon<sup>®</sup> com capacidade de 50 mL, e em seguida adicionou-se 40 mL de solução de bicarbonato de sódio 0,5 mol L<sup>-1</sup> à pH 8,5 em cada amostra. Estas amostras foram agitadas manualmente e de forma leve, por aproximadamente 5 segundos. Após, as amostras permaneceram em repouso durante 16 horas. Posteriormente foram centrifugadas a 5.000 rpm (2.940 g) durante 5 minutos. Assim, todo o sobrenadante foi transferido e reservado em outro tubo Falcon<sup>®</sup>. Do sobrenadante obtido tomou-se uma alíquota de 20,0 mL e transferiu-o para um tubo de ensaio. Adicionou-se 2,0 mL de cloreto de magnésio (MgCl<sub>2</sub>) saturado e 3,0 mL de ácido perclórico (HClO<sub>4</sub>)

concentrado (P.A. 72 %). Levou-se para bloco digestor, iniciando-se com a temperatura de 75 °C e elevando-se 15 °C a cada 20 minutos até atingir 120 °C. Depois elevou-se 10 °C a cada 30 minutos até atingir 150 °C. A digestão foi concluída quando evaporou-se praticamente todo o líquido e ocorreu a formação de um gel incolor (aproximadamente 24 horas de digestão).

Depois de concluída a digestão, deixou-se esfriar os tubos de ensaio e removeu-se o material digerido para tubos Falcon® limpos, aferindo-se para 20 mL. Então determinou-se a concentração de fósforo com espectrofotômetro na faixa do azul (660 nm) a partir da formação da cor azul do complexo fosfato-molibdato em meio sulfúrico, na presença de ácido ascórbico como redutor (Embrapa, 1997).

Para a determinação do fósforo no extrato do bicarbonato não digerido (Pi-bic) procedeu-se da mesma forma que determinou-se o fósforo no extrato do bicarbonato digerido (Pt-bic).

A segunda extração foi realizada por meio da utilização de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Na amostra de solo residual da primeira extração (NaHCO<sub>3</sub>), adicionou-se 1,5 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado e logo em seguida, adicionou-se 2,0 mL de água destilada, sendo esta dividida em 0,5 mL a cada 5 segundos, sempre agitando-se o tubo levemente, de forma manual e circular, tomando-se o cuidado para que se desprendesse todo o resíduo do fundo do tubo. Em seguida aferiram-se os tubos a 40 mL com água destilada. Todos estes procedimentos foram realizados antes de ter sido processada a amostra seguinte. Posteriormente, deixaram-se as amostras esfriar e centrifugou-se a 5.000 rpm (2.940 g) durante 5 minutos. Em seguida transferiu-se todo o sobrenadante para tubos limpos.

Para a digestão de uma alíquota do extrato ácido procedeu-se como descrito para a digestão do extrato do bicarbonato. A determinação também foi semelhante, porém, antes de se adicionar a solução à base de molibdato ajustou-se o pH das amostras. Para isso adicionou-se 3 gotas de p-nitrofenol (0,25 %), e em seguida adicionou-se NaOH 10 mol L<sup>-1</sup> de gota em gota até obter-se a viragem do incolor para amarelo. Após, determinou-se o teor de fósforo de acordo com Embrapa (1997). Esta foi a determinação do extrato ácido digerido (Pt-H).

A determinação do fósforo no extrato ácido não digerido (Pi-H) teve os mesmos procedimentos que foram realizados no extrato ácido digerido (Pt-H).

A terceira extração foi realizada com o uso de uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,5 mol L<sup>-1</sup>. No solo residual da segunda extração (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), adicionou-se 40 mL de solução de NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup> e agitou-se manualmente por aproximadamente 5 segundos, tomando-se o cuidado para desprender todo o solo residual no fundo do tubo. Em seguida deixaram-se os tubos com as amostras em banho-maria a 80 °C durante 2 horas. Após, deixou-se esfriar e centrifugou-se a 5.000 rpm (2.940 g) por 5 minutos, separando-se o sobrenadante em tubos limpos. O solo residual foi secado em estufa a 50 °C durante 48 horas.

A digestão do extrato do NaOH foi procedida da mesma forma que para o extrato com bicarbonato. E a sua determinação procedeu-se da mesma forma que para o extrato ácido digerido.

Para a determinação do fósforo no extrato do NaOH não digerido foi pipetado 15,0 mL do extrato para tubos limpos, em seguida baixou-se o pH de cada amostra para 1,0 (± 0,1), com uso de ácido sulfúrico à 20 %. Aguardou-se 2 horas e centrifugou-se a 5.000 rpm (2.940 g) durante 5 minutos. Após, a determinação foi procedida como descrita para o extrato ácido digerido.

A amostra residual, depois de secada em estufa, foi desfragmentada e pesada 0,20 g, transferindo-a para tubos de ensaio. Em seguida adicionou-se 1,0 mL de cloreto de magnésio (MgCl<sub>2</sub>) saturado e 3,0 mL de ácido perclórico (HClO<sub>4</sub>) concentrado (P.A. 72 %). Após levou-se as amostras para o bloco digestor, iniciando-se a temperatura em 75 °C e elevando-a 15 °C a cada 20 minutos, até chegar a 200 °C, permanecendo a essa temperatura por

aproximadamente 2 horas (até apresentar uma coloração clara). Posteriormente, removeu-se as amostras, aguardou-se o resfriamento, sendo então transferidas para tubos e aferidas à 20 mL. Deixou-se em repouso por uma noite para decantar os sedimentos, e assim pipetou-se 5,0 mL deste extrato em copos descartáveis e adicionou-se 3 gotas de p-nitrofenol (0,25 %). Em seguida adicionou-se NaOH 10 mol L<sup>-1</sup> de gota em gota até obter-se a viragem do incolor para amarelo. Então se determinou a concentração de fósforo com espectrofotômetro, na faixa do azul (660 nm) a partir da formação da cor azul do complexo fosfato-molibdato em meio sulfúrico, na presença de ácido ascórbico como redutor (Embrapa, 1997). Esta foi a determinação do P residual.

O conteúdo de P orgânico (Po) das amostras foi estimado a partir da diferença entre o P total (digerido) e o P inorgânico (não digerido) recuperados em cada extrator. Assim, procedeu-se da seguinte forma:

- P orgânico extraível em bicarbonato de sódio 0,5 mol L<sup>-1</sup> (Po-bic) = P total extraível em solução de bicarbonato de sódio 0,5 mol L<sup>-1</sup> (Pt-bic) – P inorgânico extraível em solução de bicarbonato de sódio 0,5 mol L<sup>-1</sup> (Pi-bic).
- P orgânico extraível em solução ácida (Po-H) = P total extraível em solução ácida (Pt-H) – P inorgânico extraível em solução ácida (Pi-H).
- P orgânico extraível em solução alcalina (Po-OH) = P total extraível em solução alcalina (Pt-OH) - P inorgânico extraível em solução alcalina (Pi-OH).
- P residual (Pres) = Valor de P do solo residual após as três etapas de extração.

Assim, foi possível se obter também os seguintes valores:

- P total do solo (Pt) = Pt-bic + Pt-H + Pt-OH + Pres.
- P inorgânico total do solo (Pit) = Pi-bic + Pi-H + Pi-OH.
- P orgânico total do solo (Pot) = Po-bic + Po-H + Po-OH.
- Taxa de recuperação de P (TR) = ((Pt-bic + Pt-H + Pt-OH)/Pt) x 100
- Percentagem de P orgânico = (Pot / Pt) x 100

### 3.4 Análises Estatísticas

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, consistindo de 3 áreas (pastagem, integração lavoura-pecuária e Cerrado). Os resultados foram submetidos ao teste de Lilliefors para a avaliação da normalidade dos erros, e ao teste de Cochran & Bartlett para verificar a homogeneidade das variâncias. Em seguida os dados foram submetidos ao teste F por meio da análise de variância (ANOVA). Os dados que apresentaram significância ao teste F a 5 %, tiveram suas médias comparadas pelo teste de Tukey a 5 %. Todos estes procedimentos foram executados através do aplicativo estatístico SAEG (2007).

Foi realizada a análise de componentes principais (ACP) para observar a similaridade ou dissimilaridade entre as áreas avaliadas, com relação a seus atributos de matéria orgânica do solo e frações de fósforo. Também se realizou a correlação de Pearson, através do teste t à 5 %.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Granulometria do Solo

Para as áreas de estudo não foram verificadas diferenças quanto a classe textural para a camada de 0-5 cm, sendo estas classificadas como de textura argilosa. Os valores de argila variaram de 410 g kg<sup>-1</sup> (Cerrado) a 450 g kg<sup>-1</sup> (ILP). Os teores de areia variaram de 250 g kg<sup>-1</sup> na área de ILP a 430 g kg<sup>-1</sup> na área de Cerrado (Tabela 1). Já nas demais profundidades observaram-se maior variação nos teores de argila e areia entre as áreas avaliadas.

**Tabela 1.** Textura do solo nas diferentes profundidades em área de pastagem, ILP e Cerrado, em Montividiu – GO.

Áreas avaliadas	Argila	Areia	Silte	Classe textural*
	g kg <sup>-1</sup>			
Prof. (cm)				
<b>0-5</b>				
Pastagem	430	370	200	Argila
ILP	450	250	300	Argila
Cerrado	410	430	160	Argila
<b>5-10</b>				
Pastagem	470	340	190	Argila
ILP	540	220	240	Argila
Cerrado	370	460	170	Argilo-arenosa
<b>10-20</b>				
Pastagem	540	290	170	Argila
ILP	640	210	150	Muito argilosa
Cerrado	370	520	110	Argilo-arenosa
<b>20-40</b>				
Pastagem	520	260	220	Argila
ILP	590	200	210	Argila
Cerrado	370	480	150	Argilo-arenosa

\* Classe textural de acordo com Santos et al. (2005); ILP: integração lavoura-pecuária. Os valores foram obtidos da média de 5 repetições.

De maneira geral, verificou-se que em todas as profundidades os menores teores de argila ocorreram na área de Cerrado, e os maiores teores na área de ILP. Foi observada uma maior similaridade entre a textura das áreas de pastagem e ILP quando foram comparadas à área de Cerrado. Esse padrão indica que com exceção da profundidade de 10-20 cm na área de ILP, todas as profundidades encontram-se na classe textural argila (Tabela 1). Já a área de Cerrado, com exceção da profundidade de 0-5 cm, todas as demais camadas foram identificadas como classe textural argilo-arenosa (Tabela 1).

As diferenças de textura entre as áreas, principalmente a maior variação observada na área de Cerrado limitam a discussão dos resultados nas camadas mais profundas (10-20 e 20-40 cm) já que tem sido sugerido que a textura do solo desempenha uma função importante na determinação da quantidade de matéria orgânica no solo (Parton et al., 1987; Feller et al., 1991). As variações nos teores de carbono do solo são mais estreitamente relacionadas com a variação da textura do solo quando comparados com parâmetros como o uso da terra e o clima (Feller et al., 1991).

## 4.2 Densidade do Solo

A densidade do solo (Ds) na profundidade de 0-5 cm não diferiu entre as áreas avaliadas (Tabela 2). Já em estudo realizado por Marchão et al. (2007) em Planaltina (DF) sob Latossolo Vermelho observou-se que as áreas de rotação lavoura-pastagem (soja/*Panicum maximum* e soja/*Urochloa brizantha*) e a área de pastagem contínua de *Urochloa decumbens* apresentaram incremento da densidade na camada de 0-5 cm quando comparadas com a área de Cerrado. Em trabalho desenvolvido por Guimarães Santos et al. (2011) em Goiás sob Latossolo Vermelho, também observou-se que as áreas com rotação lavoura-pastagem apresentaram maiores valores de Ds quando comparadas com a pastagem contínua (*Urochloa decumbens*). Nesse estudo, as áreas de pastagem e ILP apresentaram valores de Ds que indicam reduzida influência dos sistemas de manejo sobre a camada mais superficial do solo.

**Tabela 2.** Valores de densidade do solo (Ds) em área de pastagem, ILP e Cerrado, em Montividiu – GO.

Áreas avaliadas	Profundidade (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-40
Pastagem	1,05 <sup>ns</sup>	1,09 b	1,10 ab	0,99 b
ILP	0,97 <sup>ns</sup>	1,05 b	1,02 b	0,99 b
Cerrado	0,94 <sup>ns</sup>	1,21 a	1,19 a	1,48 a
CV (%)	13,55	4,89	8,52	7,32

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5 %; <sup>ns</sup>: não significativo ao teste F. CV: coeficiente de variação; ILP: integração lavoura pecuária.

Nas profundidades de 5-10; 10-20; e 20-40 cm, a densidade do solo da área de Cerrado diferiu das demais áreas avaliadas, apresentando os maiores valores (Tabela 2). Os resultados verificados na área de Cerrado não podem ser comparados às áreas de pastagem e ILP, já que provavelmente são mais elevados devido a textura mais arenosa (Tabela 1).

Comparando-se apenas a área de ILP com a de pastagem, observou-se que a densidade do solo não diferiu em nenhuma das camadas avaliadas (Tabela 2). Na pastagem observa-se o pisoteio de bovinos como agente compactador do solo, e na área de ILP tem-se o tráfego de máquinas agrícolas e também o pisoteio de bovinos na época seca, durante o pastoreio dos bovinos na pastagem de braquiária. Apesar do potencial desses agentes em compactar o solo, a Ds não foi afetada em função da ação de máquinas agrícolas na área de ILP. Porém, vale destacar que a maior intensidade de máquinas nessa área havia ocorrido à aproximadamente três meses (colheita do feijão e plantio do algodão) antes da coleta das amostras de solo. Segundo Raper (2005), os pneus agrícolas podem provocar uma maior compactação do solo em maiores profundidades, e de acordo com Spera et al. (2009), o pisoteio de animais provoca maiores impactos negativos na superfície do solo, geralmente na camada de 0-10 cm de profundidade. Dessa forma, neste estudo não foi possível constatar esse comportamento, podendo-se sugerir que a inclusão da braquiária na rotação de culturas pode atenuar a compactação provocada pelas máquinas agrícolas, possivelmente, através da melhoria da resiliência do solo exercida pelo sistema radicular da braquiária.

## 4.3 Estabilidade de Agregados

A estabilidade dos agregados foi avaliada por meio do estudo do diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados. Com relação ao DMP, foi observada diferença apenas na profundidade de 0-5 cm, sendo que os maiores

valores ocorreram no Cerrado e na pastagem, com 4,710 mm e 4,659 mm respectivamente (Tabela 3). A área de ILP apresentou os menores valores de DMP (4,279 mm).

**Tabela 3.** Diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados em áreas de pastagem, ILP e Cerrado, em Montividiu – GO.

Áreas avaliadas	DMP		DMG	
	Profundidade (cm)			
	0-5	5-10	0-5	5-10
	----- mm -----			
Pastagem	4,659 a	4,534 <sup>ns</sup>	3,726 a	3,323 ab
ILP	4,279 b	4,400 <sup>ns</sup>	2,973 b	2,900 b
Cerrado	4,710 a	4,730 <sup>ns</sup>	3,925 a	4,014 a
CV (%)	3,42	4,75	11,23	18,66

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5 %; <sup>ns</sup>: não significativo ao teste F; DMP: diâmetro médio ponderado; DMG: diâmetro médio geométrico; CV: coeficiente de variação; ILP: integração lavoura-pecuária.

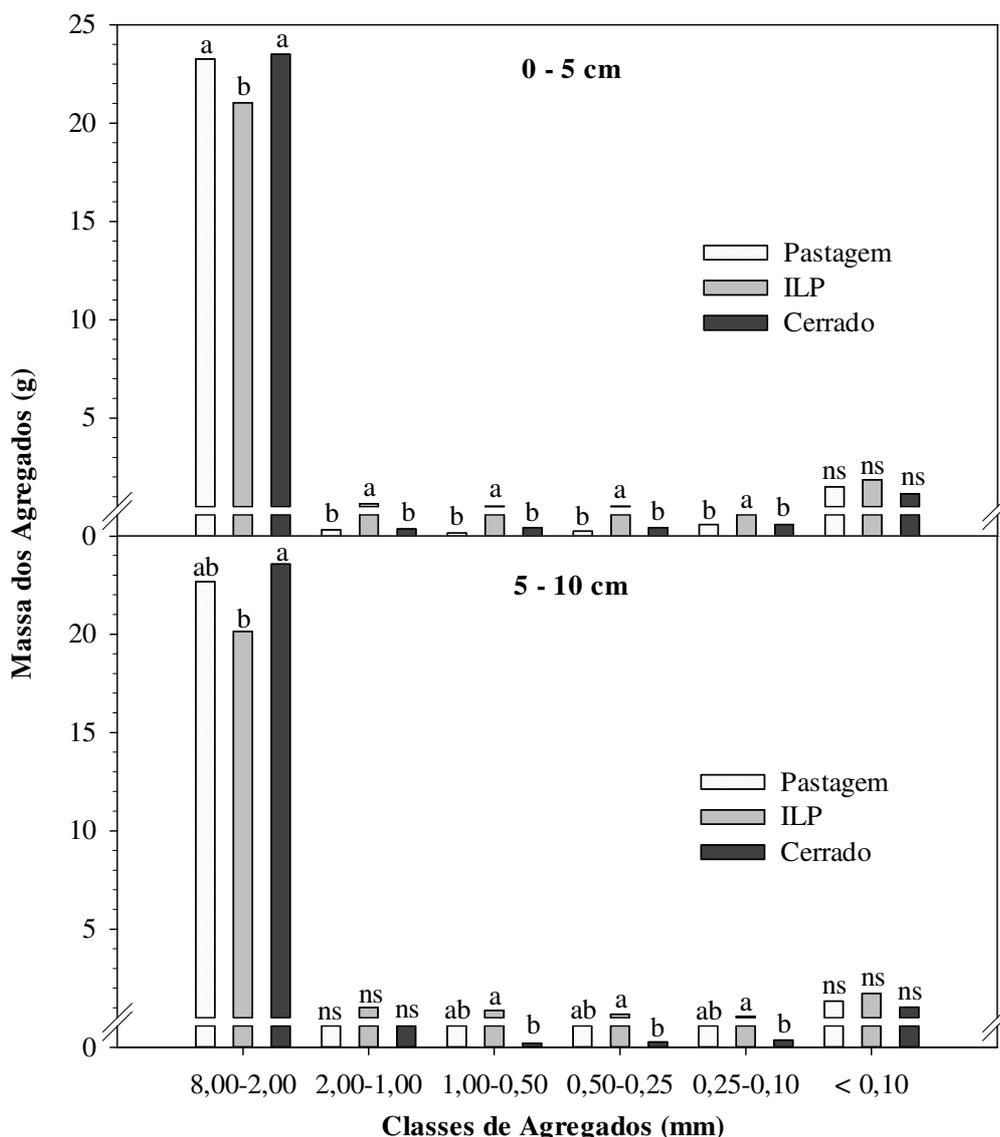
Os valores de DMG na profundidade de 0-5 cm seguiram a tendência do DMP, onde as áreas de Cerrado e pastagem diferiram da área de ILP com os maiores valores (Tabela 3). Observaram-se resultados semelhantes para o DMG na profundidade de 5-10 cm, verificando-se o maior valor para a área de Cerrado, e o menor valor para a área de ILP (Tabela 3). A área de pastagem não diferiu das demais áreas.

Os resultados de DMP e DMG observados neste estudo demonstram de forma geral, menores valores para a área de ILP, quando comparados às demais áreas. As áreas de pastagens possibilitam maiores valores de estabilidade de agregados quando comparadas as áreas de lavoura sob plantio direto, devido ao abundante sistema radicular (Salton et al., 2008). Nas áreas de ILP, a influência antrópica por meio de semeadura e adubação mecanizadas causa pequenas perturbações na agregação do solo. Costa Junior et al. (2011) estudaram a agregação em solos de Cerrado e concluíram que a introdução de sistemas de manejo, com exceção da pastagem, provocam rupturas nos agregados, principalmente em sistemas com maior intensidade de revolvimento do solo.

Na Figura 7 pode-se observar a distribuição da massa dos agregados nas diferentes peneiras. A maioria dos agregados nos solos das áreas avaliadas possui o tamanho compreendido entre a faixa de 8,00-2,00 mm nas duas camadas avaliadas (Figura 7). Estes resultados são muito satisfatórios, pois mostram que em todas estas áreas existem fatores que estejam favorecendo a agregação. Nas áreas de ILP e pastagem, provavelmente as raízes da braquiária estejam exercendo ação mecânica para unir as partículas do solo (Six et al., 2004), além da liberação de substâncias químicas com ação cimentante (Salton et al., 2008; Kasper et al., 2009). A ação de hifas de fungos também pode estar sendo fundamental para a agregação do solo (Denef & Six, 2005), principalmente na área de Cerrado, onde não se observa a influência de ações antrópicas.

Na faixa de tamanho entre 8,00-2,00 mm, a área de ILP apresentou as menores massas de agregados nas duas camadas avaliadas, no entanto, quando comparada com a área de pastagem difere apenas na camada de 0-5 cm, já na camada de 5-10 cm as massas das áreas de ILP e pastagem não diferiram (Figura 7). Na camada de 5-10 cm esse comportamento também foi observado para as demais peneiras, ou seja, as áreas de ILP e pastagem não diferiram (Figura 7). Estes resultados mostram que a influência positiva das raízes da braquiária sobre a agregação é maior em subsuperfície. É possível que estes benefícios do sistema radicular da braquiária também estejam presentes na camada de 0-5 cm, porém a ausência da braquiária no sistema de rotação de culturas poderia resultar em valores menos desejados.

### Massa dos agregados nas diferentes peneiras



**Figura 7.** Distribuição da massa dos agregados nas diferentes peneiras após o processo de tamisamento. Letras iguais em cada classe de agregados não diferem entre as áreas avaliadas pelo teste de Tukey a 5 %. ns: não significativo ao teste F à 5 %.

#### 4.4 Fertilidade do Solo

Na Tabela 4 são apresentados os resultados da análise de fertilidade nas diferentes profundidades. A área de Cerrado apresentou em todas as profundidades, os menores valores de pH, que são justificados pelos menores teores de magnésio (Mg) e os maiores valores de alumínio trocável (Al). Consequentemente, os valores de saturação por bases são baixos. Nas áreas de ILP e pastagem não foi observado a presença de alumínio, somente na área de Cerrado (Tabela 4). A área de ILP é submetida à calagem periodicamente, e a área de pastagem já recebeu calagem há aproximadamente 15 anos, quando ainda encontrava-se com produção de soja, o que explica os baixos valores de Al observados.

A calagem periódica também justifica os maiores valores de pH na área de ILP para as profundidades de 0-5; 5-10; e 10-20 cm. Em função da calagem empregada, a área de ILP apresentou os maiores teores de Mg nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm. Os valores de H+Al

foram maiores para a área de Cerrado em todas as profundidades. Possivelmente isto seja decorrente dos maiores teores de carbono orgânico total (COT) (Tabela 8) observados nesta área, e também de seus maiores teores de Al, principalmente nas maiores profundidades.

**Tabela 4.** Valores de pH, nutrientes e hidrogênio+alumínio nas diferentes profundidades em áreas de pastagem, ILP e Cerrado, em Montividiu – GO.

Áreas avaliadas	pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)	Ca	Mg	K	H+Al	Al	Pdis
Prof (cm)							
<b>0-5</b>							
Pastagem	4,97 b	2,94 a	5,20 b	0,12 <sup>ns</sup>	8,29 b	0,00 b	2 b
ILP	5,65 a	2,52 b	7,50 a	0,16 <sup>ns</sup>	6,76 c	0,00 b	8 a
Cerrado	4,16 c	3,08 a	5,30 b	0,13 <sup>ns</sup>	15,09 a	0,41 a	2 b
CV (%)	4,79	7,08	11,86	21,80	5,69	14,02	25,02
<b>5-10</b>							
Pastagem	4,77 b	2,50 a	3,56 b	0,07 <sup>ns</sup>	9,11 b	0,00 b	4 b
ILP	5,36 a	2,40 a	5,58 a	0,08 <sup>ns</sup>	7,51 b	0,00 b	10 a
Cerrado	3,93 c	0,68 b	1,06 c	0,08 <sup>ns</sup>	11,97 a	0,41 a	1 c
CV (%)	3,42	14,46	13,51	29,88	10,28	10,15	22,98
<b>10-20</b>							
Pastagem	4,86 a	1,80 a	2,28 a	0,04 b	7,29 c	0,00 b	3 a
ILP	4,72 a	1,38 b	1,12 b	0,09 a	9,50 b	0,00 b	3 a
Cerrado	4,12 b	0,42 c	0,86 b	0,07 ab	11,07 a	0,57 a	1 b
CV (%)	2,81	20,36	16,82	28,96	7,24	15,41	24,81
<b>20-40</b>							
Pastagem	5,14 a	0,70 <sup>ns</sup>	1,58 a	0,04 <sup>ns</sup>	6,37 c	0,00 a	2 a
ILP	4,51 b	0,66 <sup>ns</sup>	0,90 b	0,07 <sup>ns</sup>	8,78 b	0,00 a	1 b
Cerrado	4,17 b	0,90 <sup>ns</sup>	0,66 b	0,07 <sup>ns</sup>	10,46 a	2,66 b	1 b
CV (%)	4,77	24,60	19,50	29,80	7,43	17,58	23,03

Médias seguidas de mesma letra na coluna e dentro de cada profundidade não diferem pelo teste de Tukey a 5 %; <sup>ns</sup>: não significativo ao teste F; ILP: integração lavoura-pecuária; Todas as áreas apresentaram valores de sódio (Na) iguais a 0 (zero) em todas as profundidades; Ca: Cálcio trocável; Mg: Magnésio trocável; K: Potássio trocável; H+Al: Hidrogênio + Alumínio trocáveis; Al: Alumínio trocável; Pdis: Fósforo disponível

Os teores de cálcio (Ca) da área de pastagem diferiram das demais áreas, com os maiores valores nas profundidades de 0-5; 5-10; e 10-20 cm, no entanto, na profundidade de 5-10 cm a área de ILP não diferiu da área de pastagem (Tabela 4). Esse padrão provavelmente seja decorrente da adição de calcário e à reciclagem do cálcio via decomposição de resíduos vegetais. É importante destacar a diferença nos teores de Mg na área de pastagem, onde observaram-se os maiores valores nas profundidades de 10-20 e 20-40 cm (Tabela 4). Este resultado é decorrente do processo de ciclagem e renovação de forma acentuada e constante do sistema radicular da pastagem em maiores profundidades.

Os valores de potássio (K) apresentaram diferença somente na profundidade de 10-20 cm, onde se observou o maior teor para a área de ILP (Tabela 4). Esse maior teor de K é atribuído à adubação potássica e a ciclagem da palhada e posterior liberação desse nutriente.

A área de ILP apresentou os maiores teores de fósforo (P) nas profundidades de 0-5; 5-10; e 10-20 cm (Tabela 4). Os valores mais elevados de P na área de ILP certamente estão relacionados com a aplicação da adubação fosfatada. A manutenção dos resíduos culturais em superfície também pode estar contribuindo para o aumento dos teores de P.

Na profundidade de 10-20 cm o teor de P da área de pastagem não diferiu da área de ILP, e na profundidade de 20-40 cm a área de pastagem apresentou diferenças sendo o valor de P ligeiramente maior (Tabela 4). Portanto, pode-se supor que nas profundidades de 10-20 cm e 20-40 cm, o sistema radicular da pastagem (braquiaria) está favorecendo a ciclagem do P no solo, proporcionando maiores teores de P disponível para as plantas. Esse padrão demonstra a importância de se utilizar uma gramínea com sistema radicular que emita um grande número de raízes finas e profundas. Este é um dos motivos que justificam a implantação de gramíneas em sistemas de rotação de culturas para a produção de grãos, como a integração lavoura-pecuária.

#### 4.5 Resíduos Vegetais Existentes

Os resíduos vegetais existentes diferiram com os maiores valores para a área de Cerrado e ILP, e a área de pastagem diferiu com a menor massa de resíduos vegetais (Tabela 5). O maior aporte de resíduos vegetais encontrados na área de ILP pode ser atribuído às melhores condições de fertilidade do solo nessa área, favorecendo o crescimento vegetal e seu posterior acúmulo em superfície. A elevada produção de serapilheira na área de Cerrado é atribuída a maior estabilidade climática sob a copa das árvores e a ausência de intervenção antrópica.

**Tabela 5.** Fitomassa existente em áreas com diferentes sistemas de manejo do solo em Montividiu – GO.

Áreas avaliadas	FS (Mg ha <sup>-1</sup> )
Pastagem	2,56 b
ILP	4,25 a
Cerrado	5,55 a
CV (%)	21,06

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%; FS: fitomassa seca. CV: coeficiente de variação; ILP: integração lavoura-pecuária.

A semelhança entre os valores de fitomassa da área de ILP e Cerrado, demonstram a capacidade que o sistema de ILP, quando manejado adequadamente, possui em aportar resíduos vegetais sobre a superfície do solo. Esses valores são de fundamental importância nos sistemas agrícolas do Cerrado, pois a elevada taxa de decomposição dos resíduos vegetais nesse bioma tem dificultado a manutenção da fitomassa na superfície do solo (Boer et al., 2007; Torres et al., 2008). Por isso o uso de pastagens de gramíneas como as braquiárias, pode elevar a produção de fitomassa e contribuir positivamente na dinâmica do carbono e na ciclagem de nutrientes.

Na Tabela 6 são apresentados os teores totais de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), e magnésio (Mg) na serapilheira e nos resíduos vegetais das áreas avaliadas. A área de pastagem apresentou os maiores teores de P, K e Mg, enquanto que na área de ILP foram quantificados os menores teores de K, Ca, e Mg. Na área de Cerrado foram verificados os menores teores de P, podendo ser decorrente da menor disponibilidade de fósforo total, pois as demais áreas já receberam adubações fosfatadas. De maneira geral, os resíduos vegetais da área de pastagem apresentaram os maiores teores de nutrientes, sendo atribuído ao menor estágio de decomposição (observado visualmente no momento da coleta) nesses resíduos quando comparado com os resíduos das demais áreas.

**Tabela 6.** Teores totais de fósforo, potássio, cálcio e magnésio na serapilheira e nos resíduos vegetais das áreas com diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado Goiano.

Áreas avaliadas	P	K	Ca	Mg
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----			
Pastagem	1931 a	8438 a	3012 b	6247 a
ILP	1086 b	3640 b	1500 c	2125 c
Cerrado	600 c	4469 b	4544 a	2998 b
CV (%)	9,56	9,62	10,80	5,75

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%. P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio. ILP: integração lavoura-pecuária. CV: coeficiente de variação.

Com exceção do P, os resíduos vegetais da área de ILP apresentaram os menores teores de nutrientes, sendo atribuído ao maior estágio de decomposição dos resíduos (observação visual), o qual foi composto principalmente por colmos de milho.

É importante destacar que nesse estudo têm-se uma grande variação de espécies de plantas e também a variável da adubação. No caso das diferentes espécies, observa-se a existência de resíduos orgânicos com diferentes resistências à decomposição (Crusciol et al., 2005) e diferentes níveis de recalitrância (Giacomini et al., 2003). Do ponto de vista agrícola Gama-Rodrigues et al. (2007), mostraram que a introdução de leguminosas como plantas de cobertura elevou a qualidade dos resíduos vegetais, em razão do maior suprimento de nitrogênio, fósforo e cálcio ao solo.

Na Tabela 7 são apresentados os valores de carbono, nitrogênio,  $\delta^{13}\text{C}$ , e relação C/N da serapilheira. Os valores de carbono e nitrogênio apresentaram diferenças em todas as áreas, sendo que o carbono mostrou maiores valores para a área de Cerrado (486,28 g kg<sup>-1</sup>), seguida da pastagem (425,51 g kg<sup>-1</sup>) e ILP (364,25 g kg<sup>-1</sup>). Já os valores de nitrogênio também foram maiores para a área de Cerrado (13,69 g kg<sup>-1</sup>), porém seguidos de ILP (11,53 g kg<sup>-1</sup>) e pastagem (5,08 g kg<sup>-1</sup>) (Tabela 7).

**Tabela 7.** Carbono, nitrogênio,  $\delta^{13}\text{C}$ , e relação C/N dos resíduos vegetais e serapilheira em diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado Goiano.

Áreas avaliadas	C	N	$\delta^{13}\text{C}$	C/N
	----- g kg <sup>-1</sup> -----		----- ‰ -----	
Pastagem	425,51 b	5,08 c	-12,25 a	83,84 a
ILP	364,35 c	11,53 b	-15,33 b	31,64 c
Cerrado	486,28 a	13,69 a	-28,67 c	35,62 b
CV (%)	2,06	5,23	-6,25	3,24

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%. C: carbono; N: nitrogênio; C/N: relação carbono/nitrogênio; ILP: integração lavoura-pecuária. CV: coeficiente de variação.

O reduzido teor de nitrogênio da serapilheira da pastagem conferiu uma elevada relação C/N para este resíduo vegetal (83,84), diferindo das demais áreas. A área de ILP e Cerrado também mostraram diferenças, observando-se uma maior relação C/N para a área de Cerrado, com valor de 35,62, enquanto a área de ILP apresentou 31,64 (Tabela 7). Assim, os resíduos vegetais da pastagem tendem a possuir maior resistência a decomposição, resultando em uma ciclagem mais lenta do carbono no sistema solo-planta-atmosfera. Em contrapartida, na área de ILP tem-se um intenso uso da terra, possibilitando uma maior velocidade de ciclagem do carbono neste sistema.

O  $\delta^{13}\text{C}$  apresentou diferenças em todas as áreas, justificando assim as diferentes origens de material vegetal (mecanismo fotossintético C<sub>3</sub> ou C<sub>4</sub>). A área de pastagem apresentou valor de -12,25 ‰, mostrando que há predomínio de plantas C<sub>4</sub> na área, no caso

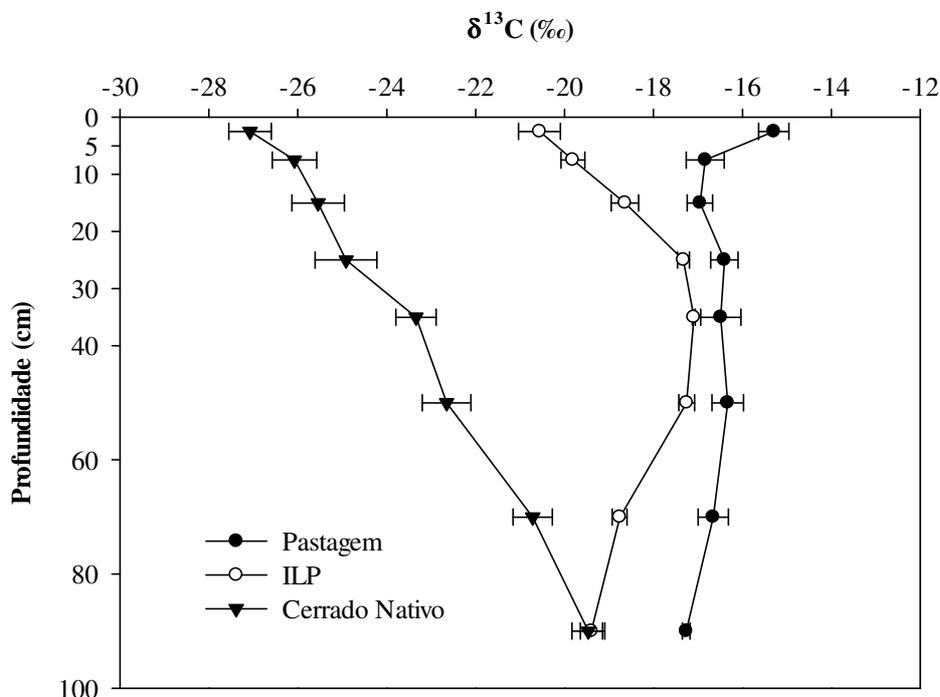
uma espécie gramínea (braquiária). O valor de  $\delta^{13}\text{C}$  da área de ILP foi de  $-15,33\text{‰}$ , mostrando a existência de resíduos vegetais oriundos de plantas com mecanismos de fotossíntese  $\text{C}_4$ , provavelmente resíduos vegetais remanescentes do cultivo de milho e também da braquiária (usada no sistema de rotação de culturas da ILP).

A serapilheira da área de Cerrado apresentou  $\delta^{13}\text{C}$  com valor de  $-28,67\text{‰}$ , mostrando que quase toda a serapilheira proveniente desta área do Cerrado é oriunda de plantas com mecanismo fotossintético  $\text{C}_3$  (Tabela 7). Alguns trabalhos já relataram que a vegetação de Cerradão apresenta a predominância de plantas  $\text{C}_3$  (Pessenda et al., 1996; Roscoe et al., 2000).

#### 4.6 Origem da MOS ( $\delta^{13}\text{C}$ )

Na Figura 8 pode-se observar a abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  nas áreas avaliadas até 100 cm de profundidade. Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  da camada superficial da área de Cerrado ( $\pm 27\text{‰}$ ) mostram o predomínio de plantas  $\text{C}_3$  na área. No entanto, em profundidade, observa-se uma elevação gradual e constante dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  ( $\pm 20\text{‰}$ ) (Figura 8). Isso mostra que esta área de Cerrado, cuja vegetação local específica é um Cerradão, possivelmente apresentava plantas com mecanismos  $\text{C}_4$  há vários anos atrás (séculos), sendo esta uma característica típica de Cerrado (Balesdent & Mariotti, 1996).

A área de pastagem apresentou teores constantes de  $\delta^{13}\text{C}$  de 5 cm até 100 cm, com valores próximos de  $-19\text{‰}$ . Somente na camada superficial de 0-5 cm que o enriquecimento de  $\delta^{13}\text{C}$  é maior, com valores próximos de  $-15\text{‰}$  (Figura 8). Isso mostra a existência de um considerável predomínio de plantas  $\text{C}_4$  nesta área. A pastagem, através de seus resíduos, já substituiu grande parte do carbono proveniente da vegetação do Cerrado. Na área de ILP, a pastagem e o milho também proporcionaram efeito semelhante.



**Figura 8.** Abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  em solos das áreas de pastagem, ILP e Cerrado nativo até 100 cm de profundidade. Média de três repetições. As barras de erros indicam os erros padrões das médias. ILP: sistema de integração lavoura-pecuária.

Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  da área de ILP mostram que esta área passou por diferentes sucessões de espécies vegetais. As camadas superficiais (0-30 cm) mostram a transição entre

espécies de plantas  $C_4$  para  $C_3$  (Figura 8). Porém, os valores de  $\delta^{13}C$  apresentados na superfície ( $\pm 21\%$ ) não permitem concluir uma espécie predominante. No entanto, isso aconteceu devido à substituição do cultivo de pastagem ( $C_4$ ) por culturas agrícolas, principalmente soja (planta  $C_3$ ). Atualmente também se tem introduzido feijão e algodão (plantas  $C_3$ ) no sistema de rotação de culturas. Entre as camadas de 20-40 cm, observa-se que existe certa semelhança no enriquecimento de  $\delta^{13}C$  entre as áreas de ILP e pastagem (Figura 8). Isto aconteceu devido ao período no qual a área foi utilizada exclusivamente como pastagem. Já nas camadas entre 60-100 cm, observam-se valores mais aproximados com os apresentados na área de Cerrado, mostrando que antes do cultivo exclusivo da pastagem na área de ILP, esta era uma área com vegetação de Cerrado nativo (Figura 8). De maneira geral, é possível observar que na camada de 80-100 cm ocorre uma convergência no enriquecimento de  $\delta^{13}C$  em todas as áreas avaliadas. Isso mostra que antes das áreas serem antropizadas, a vegetação dos locais estudados possuía características semelhantes.

#### 4.7 Carbono Orgânico Total e Nitrogênio

Na Tabela 8, são apresentados os valores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio (Nt) e relação carbono/nitrogênio (C/N) do solo das áreas avaliadas. O COT apresentou resultados com padrão semelhante nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm nas áreas avaliadas. Na profundidade de 0-5 cm, a área de Cerrado diferiu das demais, apresentando o maior valor, sendo  $65,40 \text{ g kg}^{-1}$ . Para as áreas de pastagem e ILP não foram observadas diferenças, sendo os valores de  $36,43 \text{ g kg}^{-1}$  e  $29,61 \text{ g kg}^{-1}$  respectivamente (Tabela 8). Para a profundidade de 5-10 cm, a área de Cerrado apresentou valores de COT da ordem de  $33,61 \text{ g kg}^{-1}$  e as áreas de ILP e de pastagem, valores de  $24,27 \text{ g kg}^{-1}$  e  $24,20 \text{ g kg}^{-1}$  respectivamente (Tabela 8).

Como exposto anteriormente, observa-se nas profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm, que a área de Cerrado apresentou os maiores valores de COT, quando comparados às áreas de pastagem e ILP. Esses resultados são corroborados por Fonseca et al., (2007), em trabalho realizado no Cerrado goiano, no qual os autores compararam áreas de plantio direto com braquiária e vegetação nativa (Cerrado), verificando que na camada superficial os valores foram semelhantes aos quantificados neste estudo. Os autores observaram que as áreas de Cerrado e rotação de feijão/milho + braquiária/feijão apresentaram respectivamente  $62,9 \text{ g kg}^{-1}$  e  $33,6 \text{ g kg}^{-1}$  na camada de 0-2,5 cm de profundidade; e  $37,7 \text{ g kg}^{-1}$  e  $24,7 \text{ g kg}^{-1}$  na camada de 15-17,5 cm de profundidade.

Porém, quando se compara a área de ILP com a área de pastagem não foi observada diferença significativa. Esse padrão demonstra a estabilidade do COT no sistema ILP, já que as áreas com pastagens bem manejadas são consideradas sistemas com grande estabilidade na dinâmica do carbono (Corraza et al., 1999; Salton, 2005). Cabe destacar que a área de pastagem deste estudo, já está formada há 15 anos, sendo conduzida em um sistema de pastejo adequado para a capacidade produtiva da área, sempre se evitando pastejo excessivo.

Os maiores teores de COT na área de Cerrado nas camadas superficiais (0-5; 5-10 e 10-20 cm) (Tabela 8), podem ser decorrentes da estabilidade do microclima formado sob as copas de árvores, onde a deposição de material orgânico, principalmente folhas, ocorre de forma constante proporcionando melhores condições para o estabelecimento e manutenção da população microbiana no solo. Solos com teores elevados de matéria orgânica tendem a manter uma maior estabilidade da população microbiana ao longo do ano, que pode ser atribuída à riqueza de nichos ecológicos e pela heterogeneidade das fontes de carbono (Grayston et al., 2001).

**Tabela 8.** Carbono orgânico total, nitrogênio e relação carbono/nitrogênio em diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado Goiano.

Áreas avaliadas	COT		C/N
	Nt		
	g kg <sup>-1</sup>		
<b>0-5 cm</b>			
Pastagem	36,43 b	1,94 b	18,84 a
ILP	29,61 b	1,69 b	17,55 b
Cerrado	65,40 a	3,45 a	18,99 a
CV (%)	13,61	14,70	2,26
<b>5-10 cm</b>			
Pastagem	24,20 b	1,24 b	19,47 a
ILP	24,27 b	1,32 b	18,33 b
Cerrado	33,61 a	1,93 a	17,39 b
CV (%)	8,33	8,03	3,60
<b>10-20 cm</b>			
Pastagem	18,34 c	0,94 b	19,48 b
ILP	23,49 b	1,11 b	21,13 a
Cerrado	30,15 a	1,69 a	17,75 c
CV (%)	12,21	9,68	3,96
<b>20-40 cm</b>			
Pastagem	16,45 <sup>ns</sup>	0,83 b	19,83 ab
ILP	17,46 <sup>ns</sup>	0,88 ab	19,94 a
Cerrado	16,48 <sup>ns</sup>	1,01 a	16,62 b
CV (%)	6,29	11,37	10,26

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5 %; <sup>ns</sup>: não significativo ao teste F; COT: carbono orgânico total; N: nitrogênio total; C/N: relação carbono/nitrogênio; CV: coeficiente de variação; ILP: integração lavoura-pecuária.

Na profundidade de 10-20 cm, o valor de COT da área de ILP (23,49 g kg<sup>-1</sup>) diferiu da área de pastagem (18,34 g kg<sup>-1</sup>) (Tabela 8). Isso mostra os efeitos de melhoria nos teores de COT da área de ILP, pois se pode destacar o efeito benéfico desse sistema em maiores profundidades. Isso fica mais evidenciado na camada de 20-40 cm, onde não foram verificadas diferenças nos teores de COT entre as áreas avaliadas (Tabela 8). As pastagens apresentam potencial para armazenar a maior parte do carbono abaixo da superfície (Salton et al., 2011), pois as raízes das pastagens apresentam uma grande capacidade de acumular carbono no solo (Lal, 2002).

Os valores de Nt foram maiores para a área de Cerrado nas camadas de 0-5; 5-10; e 10-20 cm, sendo importante destacar que as áreas de ILP e pastagem não diferiram nestas camadas. É possível se observar o efeito benéfico do sistema de ILP em maior profundidade (20-40 cm), onde a área de ILP não difere das áreas de pastagem e Cerrado (Tabela 8). De maneira geral, observou-se um comportamento semelhante entre os teores de Nt e COT no solo. Isto decorre da semelhança entre as dinâmicas do COT e do Nt no solo, ocorrendo apenas variações nos mecanismos de adição e perdas (Bayer et al., 2000; Lovato et al., 2004).

Na profundidade de 0-5 e 5-10 cm a relação C/N foi menor para a área de ILP, e na camada de 10-20 cm a menor relação C/N foi observada para área de Cerrado. Observou-se que a relação C/N da área de Cerrado diminuiu com o aumento da profundidade, sendo atribuída à maior estabilidade dos compostos húmicos em camadas mais profundas. A área de pastagem apresentou a maior relação C/N em todas as camadas avaliadas (Tabela 8). Isso se atribui à origem dos resíduos vegetais, os quais possuem baixos teores de N em sua constituição (Tabela 7).

A relação C/N da área de ILP diferiu apresentando o menor valor nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, e o maior valor nas camadas de 10-20 e 20-40 cm (Tabela 8). Espera-se que esta variação esteja relacionada com as diferentes origens dos resíduos orgânicos na área, ou seja, são cultivadas diferentes culturas (soja, feijão, milho, algodão e braquiária), podendo ser a influência da braquiária através de um sistema radicular em maiores profundidades. Isto é reforçado pela semelhança da relação C/N da área de ILP e pastagem na profundidade de 20-40 cm. Acredita-se também que os maiores valores da relação C/N da área de ILP em maiores profundidades seja decorrente da dinâmica mais acelerada do carbono, que por sua vez, reduz as taxas de humificação da MOS.

#### 4.8 Matéria orgânica leve

Os valores de massa da matéria orgânica leve (M-MOL) são apresentados na Tabela 9. A área de Cerrado apresentou os maiores valores de M-MOL nas duas profundidades avaliadas, sendo 22,38 e 8,51 g kg<sup>-1</sup> nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente. Estes valores são atribuídos ao maior aporte de serapilheira nessa área (Tabela 5), associado com um ambiente de grande volume de raízes da vegetação natural. As plantas de vegetação natural formam uma grande rede de raízes finas, principalmente na camada superficial, para que absorvam os nutrientes disponibilizados pela serapilheira (Menezes et al., 2010).

**Tabela 9.** Massa de matéria orgânica leve (M-MOL) em água sob diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado Goiano.

Áreas avaliadas	M-MOL	
	0-5 cm	5-10 cm
	----- g kg <sup>-1</sup> -----	
Pastagem	5,16 b	4,51 b
ILP	4,77 b	1,59 c
Cerrado	22,38 a	8,51 a
CV (%)	15,90	25,76

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5 %; CV: coeficiente de variação; ILP: integração lavoura-pecuária.

Na profundidade de 0-5 cm é importante destacar que as áreas de integração lavoura-pecuária (ILP) e pastagem não apresentaram diferença, com valores de M-MOL de 4,77 e 5,16 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Porém, na profundidade de 5-10 cm, na área de ILP observou-se menor valor de M-MOL entre as áreas avaliadas, com 1,59 g kg<sup>-1</sup>. Isso pode ser atribuído a menor relação C/N da MOL nessa área quando comparada à área de pastagem (Tabela 10). A semelhança de valores de M-MOL entre as áreas de ILP e pastagem na camada de 0-5 cm pode ser relacionado com a presença de plantas gramíneas como o milho e a braquiária no sistema de rotação de culturas. Estas plantas possuem maior relação C/N, e com isto maior período de residência no solo. Isso também foi observado por Loss et al. (2011) no Cerrado Goiano sob Latossolo Vermelho Distrófico, no qual os autores avaliaram a MOL em sistema de ILP e Cerrado nativo.

Comparando-se a área de ILP e pastagem na camada de 5-10 cm, atribui-se os maiores valores de M-MOL para a área de pastagem por apresentar um sistema radicular com grande quantidade de raízes finas associado com a exclusividade da cultura na área. A área de ILP possivelmente esteja sendo beneficiada pela braquiária, no entanto, não ao nível de semelhança com a área de pastagem.

Os teores de carbono da MOL não diferiram entre as áreas, nas duas camadas avaliadas (Tabela 10). Os valores variaram de 276,72 g kg<sup>-1</sup> (pastagem) a 321,58 g kg<sup>-1</sup>

(Cerrado). Já os teores de nitrogênio da MOL diferiram em todas as áreas avaliadas, demonstrando o mesmo padrão nas duas camadas avaliadas. Os maiores valores de nitrogênio da MOL foram observados na área de ILP, sendo 16,33 e 16,08 g kg<sup>-1</sup>, para as camadas de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente (Tabela 10). Já os menores valores foram encontrados na área de pastagem, sendo 6,87 g kg<sup>-1</sup> (0-5 cm) e 6,81 g kg<sup>-1</sup> (5-10 cm). A área de Cerrado apresentou os valores intermediários, com 9,51 g kg<sup>-1</sup> (0-5 cm) e 12,77 g kg<sup>-1</sup> (5-10 cm).

**Tabela 10.** Valores de carbono (C), nitrogênio (N) e relação C/N da matéria orgânica leve (MOL) do solo em áreas de diferentes sistemas de manejo.

Atributos	Prof. (cm)	Áreas avaliadas			CV (%)
		Pastagem	ILP	Cerrado	
C (g kg <sup>-1</sup> )	0-5	276,72 <sup>ns</sup>	291,74 <sup>ns</sup>	314,58 <sup>ns</sup>	9,29
	5-10	283,59 <sup>ns</sup>	288,97 <sup>ns</sup>	321,29 <sup>ns</sup>	10,48
N (g kg <sup>-1</sup> )	0-5	6,87 c	16,33 a	9,51 b	11,70
	5-10	6,81 c	16,08 a	12,77 b	10,13
C/N	0-5	40,34 a	17,83 c	24,86 b	8,46
	5-10	41,62 a	17,99 c	25,28 b	4,17

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5%. <sup>ns</sup>: não significativo pelo teste F à 5%; CV: coeficiente de variação; ILP: integração lavoura-pecuária.

A área de ILP apresentou os maiores valores de nitrogênio da MOL, possivelmente relacionadas com a adubação nitrogenada realizada nas culturas agrícolas. Essa prática possibilita que parte do N aplicado permaneça nos restos culturais, incluindo a MOL. Além disso, o cultivo da soja proporciona incrementos de N no solo através da fixação biológica. Na área de Cerrado é possível que ocorra a presença de algumas plantas nativas (leguminosas) com potencial de fixação biológica, auxiliando na manutenção e dinâmica do N nesta área nativa. Em função desta diferença de nitrogênio da MOL, observam-se variações na relação C/N entre todas as áreas (Tabela 10). As maiores relações C/N foram observadas na área de pastagem, seguidos de Cerrado e ILP. Essa diferença causa importante impacto na dinâmica do carbono entre as áreas, sendo mais intenso nas áreas com menor relação C/N (ILP).

#### 4.8.1 Fracionamento físico granulométrico da MOS

Os valores de contribuição de carbono (Tabela 11) e nitrogênio (Tabela 12) das frações físicas granulométricas (em relação ao COT) apresentaram padrão semelhante na camada de 0-5 cm, sendo que a área de Cerrado diferiu apresentando os maiores valores. Esses valores são atribuídos ao maior aporte de serapilheira nesta área (Tabela 5) e também devido à ausência de perturbações antrópicas. Em trabalho realizado por Salton et al. (2011) em Mato Grosso do Sul, os autores concluíram que a maior quantidade de matéria orgânica de maior labilidade (C-MOL e C-MOP) está associado ao maior aporte de material vegetal.

Comparando-se as áreas de pastagem e Cerrado na camada de 0-5 cm, não se observaram diferenças nos valores de carbono e nitrogênio em todas as frações físicas avaliadas. Para a área de ILP isso pode ser considerado um grande benefício com relação ao incremento de matéria orgânica no solo, pois a área de pastagem mantém o solo coberto permanentemente. Já a área de ILP passa por etapas no processo produtivo que propiciam a decomposição da MOS, como a dessecação das plantas e a semeadura. Segundo Causarano et al. (2008), o incremento inadequado de matéria orgânica (C-MOL e C-MOP) provoca a redução dos teores de COT, o que dá início ao processo de perda de qualidade e degradação do solo.

**Tabela 11.** Contribuição de carbono das frações físicas granulométricas em relação ao carbono orgânico total sob diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado Goiano.

Áreas avaliadas	C-MOL	C-MOP	C-MOM	COT
	----- g kg <sup>-1</sup> -----			
<b>0-5 cm</b>				
Pastagem	1,59 (4,3) b	6,70 (18,4) b	28,18 (77,3) b	36,43 b
ILP	1,37 (4,6) b	6,34 (21,5) b	21,88 (73,9) b	29,61 b
Cerrado	7,01 (10,7) a	16,37 (25,0) a	42,02 (64,3) a	65,40 a
CV (%)	14,57	25,96	19,54	13,61
<b>5-10 cm</b>				
Pastagem	1,28 (5,3) b	7,21 (29,8) b	15,70 (64,9) b	24,20 b
ILP	0,45 (1,9) c	2,91 (12,0) c	20,91 (86,1) a	24,27 b
Cerrado	2,72 (8,1) a	9,79 (29,1) a	21,09 (62,8) a	33,61 a
CV (%)	25,42	23,03	11,79	8,33

Médias seguidas de mesma letra na coluna de cada profundidade não diferem pelo teste de Tukey à 5 %. Os valores entre parênteses representam a percentagem de carbono da fração em relação ao COT. ILP: integração lavoura pecuária; C-MOL: carbono da matéria orgânica leve; C-MOP: carbono da matéria orgânica particulada; C-MOM: carbono da matéria orgânica associada aos minerais; COT: carbono orgânico total; CV: coeficiente de variação.

As distribuições percentuais das diferentes formas de carbono apresentaram padrão semelhante nas duas áreas antropizadas. Esses valores são de aproximadamente 4,5 %, 20 % e 75 % para as frações de carbono da matéria orgânica leve (C-MOL), matéria orgânica particulada (C-MOP) e matéria orgânica associada aos minerais (C-MOM) respectivamente (Tabela 11).

Na camada de 5-10 cm, os valores de carbono das frações foram maiores para a área de Cerrado. Os valores de C-MOM não apresentaram diferenças entre a área de Cerrado e ILP, atribuindo-se ao maior acúmulo de COT sob esta forma na área de ILP, pois a ciclagem mais intensa e os menores valores da relação C/N dos resíduos vegetais (Tabela 7) e da MOL (Tabela 13) na área, podem ter possibilitado a formação de compostos orgânicos mais humificados. Comparando-se os teores de carbono das frações físicas entre a área de pastagem e ILP na camada de 5-10 cm, observou-se que a área de ILP apresentou os menores valores de C-MOL e C-MOP (Tabela 11). Acredita-se que estas frações possuem maior suscetibilidade às variações no manejo do solo quando comparadas com o COT e o C-MOM. Alguns trabalhos (Rangel & Silva, 2007; Pereira et al., 2010; Frazão et al., 2010) já sugeriram a maior sensibilidade das frações mais leves da MOS.

As frações do nitrogênio apresentaram maiores variações que as frações do carbono na distribuição percentual para a camada de 0-5 cm. Na área de ILP, a participação do nitrogênio nas formas associadas às frações mais grosseiras (N-MOL e N-MOP) foram maiores quando comparada com as frações de nitrogênio da área de pastagem (Tabela 12). Provavelmente isso seja decorrente da utilização da adubação nitrogenada, e também devido ao cultivo de soja no sistema de rotação de culturas, a qual proporciona resíduos mais enriquecidos em nitrogênio.

Entre as áreas de ILP e pastagem observou-se na camada de 5-10 cm, que a área de ILP apresentou valores semelhantes de N-MOL, menores de N-MOP, e maiores de N-MOM (Tabela 12). A área de ILP apresentou a menor variação de C-MOM entre as camadas de 0-5 e 5-10 cm, observando-se maiores teores de C-MOM nesta área em comparação à área de pastagem. Em função do manejo do solo empregado na área de ILP, ocorreu uma tendência de predomínio de carbono e nitrogênio na forma de MOM, principalmente na camada subsuperficial. Isto é decorrente da maior resistência desta fração às práticas de manejo em detrimento da menor resistência das frações MOL e MOP.

**Tabela 12.** Contribuição de nitrogênio das frações físicas granulométricas em relação ao nitrogênio total sob diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado Goiano.

Áreas avaliadas	N-MOL	N-MOP	N-MOM	Nt
	g kg <sup>-1</sup>			
<b>0-5 cm</b>				
Pastagem	0,038 (2,0) b	0,38 (19,6) b	1,52 (78,4) b	1,94 b
ILP	0,077 (4,6) b	0,40 (23,7) b	1,21 (71,7) b	1,69 b
Cerrado	0,284 (8,2) a	1,02 (29,5) a	2,15 (62,3) a	3,45 a
CV (%)	20,62	15,51	20,17	14,70
<b>5-10 cm</b>				
Pastagem	0,031 (2,5) b	0,34 (27,4) b	0,87 (70,1) c	1,24 b
ILP	0,025 (1,9) b	0,17 (12,7) c	1,13 (85,4) b	1,32 b
Cerrado	0,108 (5,6) a	0,51 (26,5) a	1,31 (67,9) a	1,93 a
CV (%)	28,74	21,14	9,00	8,03

Médias seguidas de mesma letra na coluna de cada profundidade não diferem pelo teste de Tukey à 5 %. Os valores entre parênteses representam a percentagem de nitrogênio da fração em relação ao Nt. ILP: integração lavoura pecuária; N-MOL: nitrogênio da matéria orgânica leve; N-MOP: nitrogênio da matéria orgânica particulada; N-MOM: nitrogênio da matéria orgânica associada aos minerais; Nt: nitrogênio total do solo; CV: coeficiente de variação.

A relação C/N da fração MOL (CN-MOL) já foi discutida anteriormente (Tabela 10). A relação C/N da MOP (CN-MOP) e da MOM (CN-MOM) não apresentou diferenças entre as áreas na camada de 0-5 cm (Tabela 13). Já na camada de 5-10 cm a área de pastagem apresentou os maiores valores de CN-MOP e CN-MOM, sendo atribuídos à maior relação C/N dos resíduos vegetais.

**Tabela 13.** Relação carbono/nitrogênio (C/N) das frações físicas granulométricas do solo em diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado Goiano.

Áreas avaliadas	CN-MOL	CN-MOP	CN-MOM	CN-S
	g kg <sup>-1</sup>			
<b>0-5 cm</b>				
Pastagem	40,34 a	17,69 <sup>ns</sup>	18,64 <sup>ns</sup>	18,84 a
ILP	17,83 c	15,97 <sup>ns</sup>	18,06 <sup>ns</sup>	17,55 b
Cerrado	24,86 b	15,94 <sup>ns</sup>	19,63 <sup>ns</sup>	18,99 a
CV (%)	8,46	11,32	5,62	2,26
<b>5-10 cm</b>				
Pastagem	41,62 a	20,97 a	18,08 a	19,47 a
ILP	17,99 c	17,48 b	18,46 a	18,33 b
Cerrado	25,28 b	19,05 ab	16,06 b	17,39 b
CV (%)	4,17	6,35	6,51	3,60

Médias seguidas de mesma letra na coluna de cada profundidade não diferem pelo teste de Tukey à 5 %. <sup>ns</sup>: não significativo ao teste F à 5 %. ILP: integração lavoura pecuária; CN-MOL: relação carbono/nitrogênio da matéria orgânica leve; CN-MOP: relação carbono/nitrogênio da matéria orgânica particulada; CN-MOM: relação carbono/nitrogênio da matéria orgânica associada aos minerais; CN-S: relação carbono/nitrogênio do solo; CV: coeficiente de variação.

É importante destacar que a CN-MOP apresentou valores menores na camada de 0-5 cm, podendo ser atribuído à maior intensidade da atividade microbiana na camada superficial (Tabela 17), sendo a MOP uma importante fonte de nutrientes, principalmente carbono, para a biota do solo. Na camada superficial as trocas gasosas do solo com a atmosfera são mais intensas, podendo ocorrer também uma maior presença de bactérias

fixadoras de nitrogênio com vida livre, as quais suprem suas necessidades de carbono a partir de fontes como a MOL e a MOP.

A CN-MOM diferiu com o menor valor sob a área de Cerrado na camada de 5-10 cm quando comparada com a área de pastagem e ILP. Acredita-se que em áreas de maior estabilidade na dinâmica da MOS, o carbono demonstre maior estabilização das frações mais recalcitrantes nas camadas de maior profundidade (Favoretto et al., 2008).

#### 4.8.2 $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ das frações físicas granulométricas

Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  na MOL, MOP e solo foram todos maiores na área de pastagem, seguidos pela área de ILP e depois o Cerrado nas duas camadas avaliadas (Tabela 14). A discussão sobre esse resultado foi apresentada no item sobre o  $\delta^{13}\text{C}$  dos resíduos vegetais e da serapilheira (Tabela 7). Dessa forma, é avaliada a seguir a variação do  $\delta^{13}\text{C}$  entre as frações MOL e MOP, com o solo, as quais foram semelhantes nas duas camadas avaliadas.

Dentro da área de pastagem, observa-se que os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  da MOL diferiram do  $\delta^{13}\text{C}$  do solo nas duas camadas avaliadas, mostrando os maiores valores. No entanto o  $\delta^{13}\text{C}$  da MOP não diferiu do  $\delta^{13}\text{C}$  da MOL e do solo para a camada de 0-5 cm e do  $\delta^{13}\text{C}$  do solo na camada de 5-10 cm (Tabela 14). A área de ILP apresentou diferenças entre os valores do  $\delta^{13}\text{C}$  da MOL, MOP e solo nas duas camadas avaliadas, sendo os maiores valores para o solo, seguido pela MOP e MOL. A área de Cerrado apresentou diferenças do  $\delta^{13}\text{C}$  do solo e da MOL, sendo maiores para o solo, enquanto que a MOP mostra valores intermediários, não diferindo do  $\delta^{13}\text{C}$  do solo e da MOL (Tabela 14).

**Tabela 14.** Abundância natural de  $^{13}\text{C}$  na matéria orgânica leve (MOL), matéria orgânica particulada (MOP) e no solo sob diferentes áreas de manejo no Cerrado Goiano.

Áreas avaliadas	MOL	MOP	Solo	CV (%)
	----- $\delta^{13}\text{C}$ (‰) -----			
<b>0 – 5 cm</b>				
Pastagem	-13,79 aA	-14,46 aAB	-15,29 aB	-3,89
ILP	-24,17 bC	-21,64 bB	-20,56 bA	-2,41
Cerrado	-28,53 cB	-28,18 cAB	-27,07 cA	-2,18
CV (%)	-1,65	-2,82	-3,58	
<b>5 – 10 cm</b>				
Pastagem	-13,80 aA	-15,80 aB	-16,84 aB	-5,45
ILP	-24,29 bC	-20,96 bB	-19,81 bA	-1,70
Cerrado	-27,62 cB	-27,45 cAB	-26,08 cA	-2,61
CV (%)	-1,79	-4,04	-3,38	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5 %. ILP: sistema de integração lavoura-pecuária; CV: coeficiente de variação.

Para as áreas de pastagem e Cerrado observa-se tendência de aproximação dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  da fração menos estável (MOL) com os valores observados na serapilheira (Tabela 7). Na área de ILP não foi observado esse padrão, pois os resíduos vegetais apresentaram valores de -15,33 ‰ de  $\delta^{13}\text{C}$ , já a MOL teve valores de aproximadamente -24 ‰. Isso é atribuído ao dinamismo do sistema de rotação de culturas entre plantas do ciclo  $\text{C}_3$  (soja, algodão e feijão) e  $\text{C}_4$  (milho e braquiária). Possivelmente, a fração MOL desta área apresentou maiores proporções de raízes finas (vivas e mortas) da cultura de algodão, a qual estava sendo cultivada no momento de amostragem.

Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  da fração MOP apresentaram um padrão que se aproxima dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  observados no solo. Assim, comparando-se a fração MOL e MOP, é possível

inferir que a fração MOP representou melhor a origem de resíduos orgânicos de médio prazo, enquanto que a MOL foi eficiente para identificar a origem dos resíduos a curto prazo.

De maneira geral, estes estudos podem contribuir no entendimento das etapas e variações no processo de decomposição da serapilheira, a qual provavelmente passa por diferentes formas físicas e químicas dentro da dinâmica da MOS, entre elas, a MOL e a MOP.

O  $\delta^{15}\text{N}$  da MOL não diferiu entre as áreas nas duas camadas avaliadas. O  $\delta^{15}\text{N}$  da MOP foi maior para a área de pastagem e ILP para a camada de 0-5 cm, e para a camada de 5-10 cm não se observou diferença entre as áreas. Os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  do solo foram maiores para as áreas de pastagem e ILP nas duas camadas avaliadas (Tabela 15).

Os maiores valores de  $\delta^{15}\text{N}$  para o solo nas áreas de pastagem e ILP são atribuídas à maior proporção das frações orgânicas mais estáveis (N-MOM) (Tabela 12) em relação a frações de menor estabilidade. A diferença nos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  da MOP na camada de 0-5 cm se atribui pela qualidade diferenciada da MOP dessas áreas. Assim, os maiores valores observados na área de pastagem e ILP podem indicar que a fração MOP dessas áreas esteja mais humificada em relação à mesma fração da área de Cerrado.

**Tabela 15.** Abundância natural de  $^{15}\text{N}$  na matéria orgânica leve (MOL), matéria orgânica particulada (MOP) e no solo sob diferentes áreas de manejo no Cerrado Goiano.

Áreas avaliadas	MOL	MOP	Solo	CV (%)
	----- $\delta^{15}\text{N}$ (‰) -----			
<b>0 – 5 cm</b>				
Pastagem	2,14 <sup>nsB</sup>	4,73 aA	5,05 aA	20,90
ILP	2,37 <sup>nsC</sup>	4,06 aB	5,40 aA	10,25
Cerrado	2,44 <sup>ns ns</sup>	1,78 b <sup>ns</sup>	3,33 b <sup>ns</sup>	25,80
CV (%)	16,99	15,92	13,07	
<b>5 – 10 cm</b>				
Pastagem	3,50 <sup>nsB</sup>	5,25 <sup>nsA</sup>	6,59 aA	14,35
ILP	3,99 <sup>nsB</sup>	6,88 <sup>nsA</sup>	6,31 aA	9,80
Cerrado	3,05 <sup>ns ns</sup>	3,58 <sup>ns ns</sup>	4,83 b <sup>ns</sup>	29,14
CV (%)	15,14	25,94	3,40	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%. <sup>ns</sup>: não significativo ao teste F à 5%. ILP: sistema de integração lavoura-pecuária; CV: coeficiente de variação.

Comparando-se os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  das frações MOL, MOP e solo em cada área, observou-se que a MOL apresentou os menores valores de  $\delta^{15}\text{N}$  para a área de pastagem e ILP nas duas camadas avaliadas. Já na área de Cerrado não foram detectadas diferenças entre as frações e o solo em nenhuma das profundidades. A MOP apresentou valores de  $\delta^{15}\text{N}$  semelhantes aos observados para o solo, com exceção da área de ILP na camada de 0-5 cm, na qual a MOP foi menor quando comparada com o solo, porém maior em comparação à MOL (Tabela 15).

Apesar de não ter sido comparado estatisticamente, notam-se aumentos dos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  das frações MOL e MOP e do solo na camada de 5-10 cm em relação à camada de 0-5 cm. O que foi atribuído a predominância de formas mais humificadas em maiores profundidades em relação às formas orgânicas não decompostas (Nadelhoffer & Fry, 1988).

Os maiores valores de  $\delta^{15}\text{N}$  no solo são atribuídos à maior influência das formas orgânicas de maior estabilidade, as quais estão em processo mais avançado de humificação. As frações mais humificadas da MOS costumam apresentar maiores valores de  $\delta^{15}\text{N}$  em comparação às formas pouco decompostas (Nadelhoffer & Fry, 1988).

### 4.8.3 Frações húmicas

Na Tabela 16, são apresentados os valores das frações húmicas do solo nos sistemas avaliados. De forma geral, a área de Cerrado apresentou os maiores valores de carbono de todas as frações húmicas, e em todas as camadas avaliadas. Sendo as exceções feitas para a fração ácido húmico (FAH) nas camadas de 5-10 e 20-40 cm, onde não observou-se diferença entre as áreas (Tabela 16).

**Tabela 16.** Frações húmicas do solo em diferentes sistemas de manejo no Cerrado Goiano.

Áreas avaliadas	FAF	FAH	HUM	COT
	g kg <sup>-1</sup>			
<b>0-5 cm</b>				
Pastagem	4,57 b	3,51 b	25,81 b	36,43 b
ILP	4,23 b	3,81 b	21,40 c	29,61 b
Cerrado	6,34 a	5,24 a	64,34 a	65,40 a
CV (%)	11,25	4,97	6,91	13,61
<b>5-10 cm</b>				
Pastagem	4,06 b	3,37 <sup>ns</sup>	18,71 b	24,20 b
ILP	3,65 b	3,15 <sup>ns</sup>	15,78 c	24,27 b
Cerrado	5,13 a	4,15 <sup>ns</sup>	33,89 a	33,61 a
CV (%)	9,34	17,66	7,62	9,17
<b>10-20 cm</b>				
Pastagem	3,45 b	1,58 c	13,17 b	18,34 c
ILP	3,56 b	2,58 b	12,89 b	23,49 b
Cerrado	4,29 a	3,17 a	28,27 a	30,15 a
CV (%)	9,45	14,22	7,83	12,21
<b>20-40 cm</b>				
Pastagem	2,57 b	2,33 <sup>ns</sup>	7,88 c	16,45 <sup>ns</sup>
ILP	3,37 a	1,90 <sup>ns</sup>	9,88 b	17,46 <sup>ns</sup>
Cerrado	3,93 a	2,61 <sup>ns</sup>	16,46 a	16,48 <sup>ns</sup>
CV (%)	11,76	21,49	6,98	6,29

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey à 5%. <sup>ns</sup>: não significativo ao teste F à 5%. FAF: carbono da fração ácido fúlvico; FAH: carbono da fração ácido húmico; HUM: carbono da humina; COT: carbono orgânico total; CV: coeficiente de variação; ILP: integração lavoura-pecuária.

Os valores de FAH somente apresentaram diferenças nas camadas de 0-5 e 10-20 cm. Na profundidade de 0-5 cm a área de ILP não diferiu da área de pastagem, já na profundidade de 10-20 cm, a área de ILP apresentou maior valor quando comparada à área de pastagem (Tabela 16).

Comparando-se os valores de humina (HUM) entre as áreas de ILP e pastagem, observa-se que a área de pastagem apresentou os maiores valores nas camadas superficiais (0-5 e 5-10 cm). Áreas de pastagens submetidas a boas práticas de manejo, mostram potencial de acumular carbono no solo através de frações lábeis e recalcitrantes, podendo chegar à valores superiores aos observados em vegetação nativa (Roscoe et al., 2006). Na camada de 10-20 cm não se observaram diferenças, e na camada de 20-40 cm a área de ILP mostrou os maiores valores de HUM (Tabela 16).

De maneira geral, os efeitos do uso da terra do sistema ILP sobre as frações húmicas estão sendo mais pronunciados nas camadas superficiais (0-5 e 10-20 cm). As frações FAF e FAH da área de ILP apresentaram tendência de se assemelharem aos valores da área de Cerrado na camada de 20-40 cm. Acredita-se que a menor relação C/N dos resíduos vegetais

da área de ILP favoreceu a decomposição mais rápida, em relação às áreas de pastagem e Cerrado, originando maiores proporções das frações FAF e FAH em comparação à HUM.

#### 4.8.4 Respirometria de C-CO<sub>2</sub> (Evolução de C-CO<sub>2</sub>)

A variação do padrão da respirometria dos agregados no decorrer do período de avaliação (52 dias) pode ser observada na Figura 9.

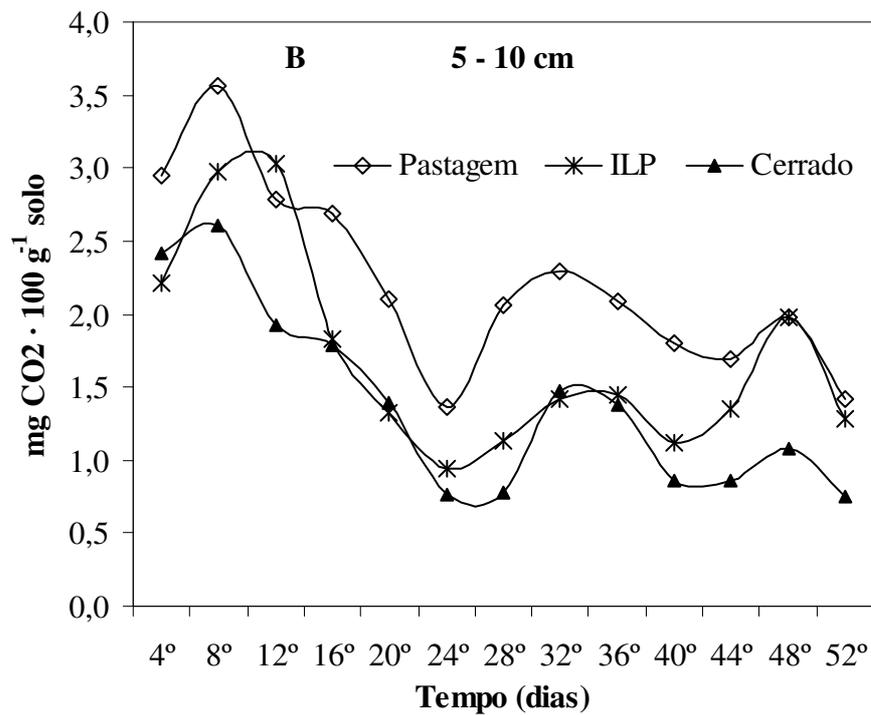
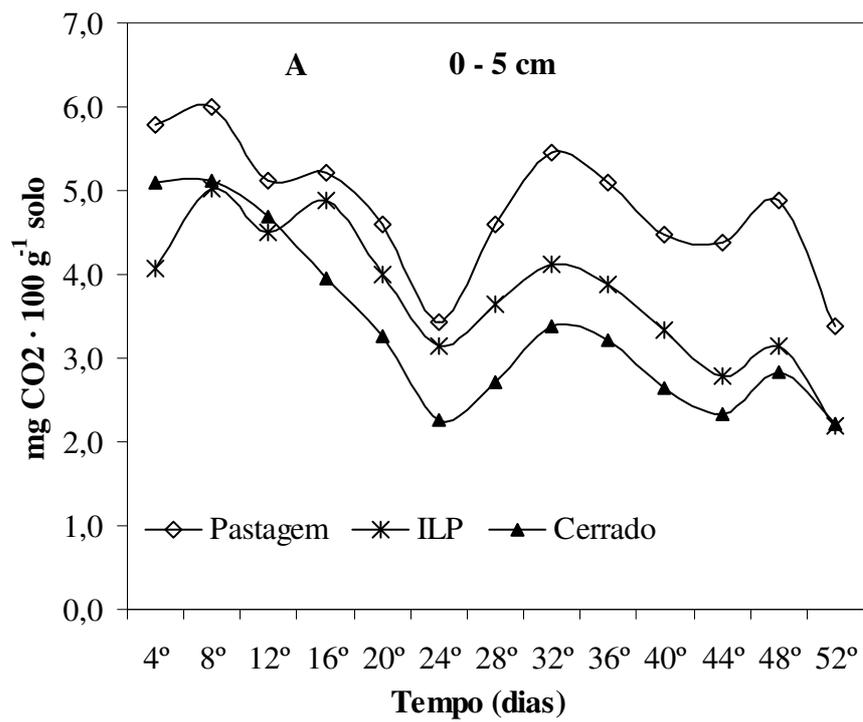
A tendência foi à redução dos fluxos ao longo do período de avaliação nas duas camadas avaliadas, e a ocorrência de três picos de destaque. Estes picos ocorreram no 8°, 32° e 48° dias de incubação (Figura 9), que provavelmente estiveram relacionados com a teoria do crescimento microbiano, na qual ocorre crescimento seguido de morte de parte desta população. Assim, a população microbiana que morreu passa a ser fonte nutritiva para os microorganismos que permaneceram vivos, possibilitando a ocorrência de um novo crescimento microbiano, e assim sucessivamente.

Segundo Alexander (1999), em ambientes naturais, o nutriente que normalmente limita o crescimento microbiano é o carbono, pois geralmente os nutrientes inorgânicos estão presentes em quantidades que excedem as necessidades das comunidades microbianas. Assim sendo, os recursos nutritivos prontamente disponíveis para os microorganismos (principalmente carbono) se reduzem ao longo do tempo, apresentando uma tendência de estabilização das taxas de respirometria.

As diferenças nos valores das taxas de respirometria entre as camadas de 0-5 (Figura 9a) e 5-10 cm (Figura 9b), provavelmente estiveram associadas aos teores de MOS, pois na camada de 0-5 cm os valores de COT são muito superiores quando comparados com a camada de 5-10 cm (Tabela 8). Isso possibilita maiores quantidades de fontes nutritivas para os microorganismos do solo.

Na Tabela 17 são apresentados os valores acumulados de CO<sub>2</sub> emitidos por agregados, após 52 dias de incubação. A área de pastagem diferiu das áreas de ILP e Cerrado, sendo observados os maiores valores de emissão de carbono nas duas camadas avaliadas, sendo 62,4 e 28,8 mg CO<sub>2</sub> · 100 g<sup>-1</sup> nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente. A área de pastagem possivelmente apresenta microrganismos adaptados a se nutrirem de material orgânico de elevada relação C/N, por isso podem estar emitindo maiores quantidades de CO<sub>2</sub> dos agregados. Em trabalho desenvolvido por Carneiro et al. (2008) sob Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho no bioma Cerrado, os autores compararam áreas de pastagens contínuas compostas por *Urochloa decumbens*, lavouras sob sistema de plantio convencional, plantio direto e ILP (milho + *Urochloa decumbens*), e observaram que as maiores taxas de respirometria ocorreram nas áreas com uso de *Urochloa*.

A área de ILP não diferiu da área de Cerrado, sendo respectivamente para as camadas de 0-5 e 5-10 cm, valores de 48,8 e 22,0 mg CO<sub>2</sub> · 100 g<sup>-1</sup> para a área de ILP; e 43,7 e 18,1 mg CO<sub>2</sub> · 100 g<sup>-1</sup> para a área de Cerrado (Tabela 17). Esta semelhança é atribuída aos valores aproximados da relação C/N observada na serapilheira destas duas áreas, que consequentemente exigem formas semelhantes de metabolismo microbiano.



**Figura 9.** Respirometria de CO<sub>2</sub> em agregados de diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado Goiano. ILP: integração lavoura-pecuária. A – profundidade de 0-5 cm e B – profundidade de 5-10 cm.

**Tabela 17.** Valores totais de CO<sub>2</sub> emitidos após 52 dias de incubação em agregados de diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado Goiano.

Profundidade (cm)	Áreas avaliadas			CV (%)
	Pastagem	ILP	Cerrado	
	----- mg CO <sub>2</sub> · 100 g <sup>-1</sup> solo -----			
0-5	62,4 a	48,8 b	43,7 b	12,46
5-10	28,8 a	22,0 b	18,1 b	15,40

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5 %. ILP: integração lavoura-pecuária; CV: coeficiente de variação.

É interessante destacar a variação da emissão de CO<sub>2</sub> entre as diferentes profundidades, ocorrendo o mesmo padrão para os três sistemas avaliados. Apesar de não ter sido realizado a análise estatística, os valores da camada de 0-5 cm são mais de duas vezes maiores, quando comparados com a camada de 5-10 cm. Isto pode ser atribuído aos maiores teores de COT nas camadas de 0-5 cm (Tabela 8), havendo maior fonte de nutrientes para os microrganismos do solo.

#### 4.9 Fósforo Remanescente

Na Tabela 18, são apresentados os valores de fósforo remanescente (Prem), verificando-se diferenças apenas nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm. Nessas camadas, os maiores teores de Prem foram observados nas áreas de ILP e pastagem, sendo 25,66 mg kg<sup>-1</sup> e 24,28 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente para a profundidade de 0-5 cm; e 25,50 mg kg<sup>-1</sup> na área de ILP e 21,98 mg kg<sup>-1</sup> na área de pastagem para a profundidade de 5-10 cm (Tabela 18).

**Tabela 18.** Fósforo remanescente nas diferentes camadas em área de pastagem, ILP e Cerrado, em Montividiu – GO.

Áreas avaliadas	Profundidade (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-40
	----- Prem (mg kg <sup>-1</sup> ) -----			
Pastagem	24,28 ab	21,98 a	18,21 <sup>ns</sup>	17,00 <sup>ns</sup>
ILP	25,66 a	25,50 a	17,76 <sup>ns</sup>	19,30 <sup>ns</sup>
Cerrado	20,89 b	19,87 b	19,49 <sup>ns</sup>	20,74 <sup>ns</sup>
CV (%)	9,74	9,76	6,89	13,57

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %; <sup>ns</sup>: não significativo ao teste F á 5 %; Prem: fósforo remanescente; CV: coeficiente de variação; ILP: integração lavoura-pecuária.

Os maiores valores de Prem encontrados na área de ILP são devido à utilização de um sistema de cultivo com uma intensa ciclagem de resíduos depositados na superfície do solo. Isso proporciona a formação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, que podem bloquear sítios de adsorção de fosfato (Tirloni et al., 2009).

Provavelmente as frações ácidos húmicos e fúlvicos exerçam uma função bloqueadora dos sítios de ligação de fosfatos (Antelo et al., 2007), assim como a humina (Fontana et al., 2008). Porém, nesse estudo é importante destacar que na área de ILP é realizada a adubação fosfatada, e o mesmo já aconteceu 15 anos atrás na área de pastagem (antes de se tornar pastagem cultivava-se soja). Então, provavelmente isto tenha provocado o preenchimento de alguns sítios de cargas dos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, que conseqüentemente diminuem a adsorção de fósforo.

## 4.10 Fracionamento do Fósforo Orgânico (Po)

### 4.10.1 Po lábil

Na Tabela 19 são apresentadas as frações de fósforo (P) extraível em bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ). Os valores de P total e P inorgânico extraível com bicarbonato de sódio (Pt-bic e Pi-bic respectivamente) foram maiores para a área de integração lavoura-pecuária (ILP) nas duas camadas avaliadas, com valores de 18 e 30  $\text{mg kg}^{-1}$  de Pt-bic na camada de 0-5 e 5-10 cm respectivamente; e 10 e 19  $\text{mg kg}^{-1}$  de Pi-bic nas camadas de 0-5 e 5-10 cm respectivamente (Tabela 19). Já os menores valores de Pt-bic e Pi-bic foram encontrados para a área de pastagem. As frações extraíveis com  $\text{NaHCO}_3$  são consideradas na literatura como uma fração de P lábil (Bowman & Cole, 1978b). Dessa forma, os maiores valores de Pt-bic e Pi-bic encontrados na área de ILP, se justificam devido à ciclagem mais intensa do P nesta área, associada com as práticas de adubação fosfatada. Em trabalho realizado por Gatiboni et al. (2007), observou-se que o aumento das doses de adubação fosfatada, eleva os níveis da fração Pt-bic e Pi-bic, que conseqüentemente reduziram os teores de P orgânico lábil.

**Tabela 19.** Teores de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) extraível com bicarbonato de sódio (bic) (P lábil).

Fração de P ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Prof. (cm)	Áreas avaliadas			CV (%)
		Pastagem	ILP	Cerrado	
Pt-bic	0-5	16 b	18 ab	19 a	8,16
	5-10	12 c	30 a	17 b	12,88
Pi-bic	0-5	4 c	10 a	7 b	17,46
	5-10	3 b	19 a	5 b	20,29
Po-bic	0-5	12 a	9 b	13 a	13,19
	5-10	9 b	12 a	12 a	10,61

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5 %; ILP: integração lavoura-pecuária; CV: coeficiente de variação.

Os valores de P orgânico extraível com  $\text{NaHCO}_3$  (Po-bic) foram, de maneira geral, maiores na área de Cerrado, com 13 e 12  $\text{mg kg}^{-1}$  de Po-bic para as camadas de 0-5 e 5-10 cm respectivamente (Tabela 19). Porém, na camada de 0-5 cm a área de pastagem não diferiu da área de Cerrado, e na camada de 5-10 cm a área de ILP que não diferiu da área de Cerrado (Tabela 19). O Po-bic representa uma importante fonte de P lábil para as plantas sem adubação, sendo proporcionalmente maior que o Pi-bic, como pode ser observado para as áreas de ILP e pastagem. Portanto, nestes sistemas mais estáveis a mineralização da MOS é mais lenta, favorecendo maiores quantidades de Po-bic. Já na área com maior perturbação antrópica (ILP), ocorre a mineralização mais intensa da MOS, sendo as frações de P orgânico disponibilizada para as plantas.

Em trabalho realizado por Gatiboni et al. (2007), no qual os autores avaliaram o padrão das diferentes frações de P em doses crescentes de adubação fosfatada em sistema de plantio direto sob Latossolo Vermelho Distroférico típico, observou-se que nas menores doses de P, a fração Po-bic teve maior participação no fornecimento de P às plantas, quando comparado com o Pi-bic.

### 4.10.2 Po moderadamente lábil

Os valores das frações de P extraível em solução ácida ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) são apresentados na Tabela 20, sendo considerada a fração moderadamente lábil (Bowman & Cole, 1978b). O P total extraível em solução ácida (Pt-H) apresentou os maiores valores na área de ILP para as

duas camadas avaliadas, com valores de 204 e 223 mg kg<sup>-1</sup> nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm respectivamente. As maiores quantidades de Pt-H na área de ILP ocorrem devido à adição consecutiva de fertilizantes na camada superficial, ausência de revolvimento e as baixas taxas de erosão. De acordo com Rheinheimer et al. (2000), a adsorção do fósforo ocorre primeiramente nos sítios mais ávidos (de menor labilidade) e, posteriormente, o fósforo restante é redistribuído em frações de menor energia e com maiores possibilidades de disponibilizar-se para as plantas.

**Tabela 20.** Teores de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) extraível em solução ácida (H) (P moderadamente lábil).

Fração de P (mg kg <sup>-1</sup> )	Prof. (cm)	Áreas avaliadas			CV (%)
		Pastagem	ILP	Cerrado	
Pt-H	0-5	171 a	204 a	102 b	13,41
	5-10	129 b	223 a	84 c	4,36
Pi-H	0-5	143 b	193 a	85 c	14,48
	5-10	108 b	215 a	71 c	4,53
Po-H	0-5	28 a	11 c	17 b	12,63
	5-10	20 a	7 c	13 b	15,11

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5%; ILP: integração lavoura-pecuária; CV: coeficiente de variação.

Já a área de Cerrado diferiu apresentando os menores valores de Pt-H, com 102 e 84 mg kg<sup>-1</sup> nas camadas de 0-5 e 5-10 cm respectivamente (Tabela 20). Isso se justifica pela inexistência de aplicações de P nesta área. Em solos altamente intemperizados ou sem adubação, a disponibilidade de fósforo é altamente dependente das formas inorgânicas e orgânicas de labilidade intermediária (Novais & Smyth, 1999).

Na área de pastagem, tem-se a informação de que esta recebeu aplicação de adubação fosfatada à mais de 15 anos. No entanto, a sua semelhança de valores de Pt-H com a área de ILP na camada de 0-5 cm (Tabela 20), mostram a grande influência desse fósforo remanescente. Acredita-se que esteja ocorrendo uma redistribuição das formas de P em diversas formas ao longo desses anos, já que é justamente na área de pastagem onde ocorrem os maiores teores de Po-H nas duas camadas avaliadas (Tabela 20).

A fração de P inorgânico extraível em solução ácida (Pi-H) apresentou padrão semelhante ao da fração de Pt-H. Isso decorre da maior participação da fração do Pi-H sobre o Pt-H, comparada ao Po-H. Todas as áreas diferiram nos valores de Pi-H, sendo os maiores valores observados para a ILP, seguido pelas áreas de pastagem e Cerrado (Tabela 20).

O P orgânico extraível em solução ácida (Po-H) diferiu em todas as áreas avaliadas. Os maiores valores foram observados para a área de pastagem, com 28 e 20 mg kg<sup>-1</sup>, e os menores valores para a área de ILP, com 11 e 7 mg kg<sup>-1</sup> para as camadas de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente (Tabela 20).

#### 4.10.3 Po moderadamente resistente

Na Tabela 21 são apresentados os valores das frações de P extraível em solução alcalina (NaOH), sendo considerada por Bowman & Cole (1978b) como as frações de P moderadamente resistentes. De maneira geral, os valores de Pt-OH e Pi-OH diferiram para a área de ILP, apresentando os maiores valores (Tabela 21). Acredita-se que o processo de oclusão do P no solo desta área seja o fator responsável, pois o longo período de práticas de adubação com P favorece a estabilização temporária das cargas elétricas na superfície dos óxidos de ferro e alumínio.

**Tabela 21.** Teores de fósforo total (Pt), fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po) extraível em solução alcalina (OH) (P moderadamente resistente).

Fração de P (mg kg <sup>-1</sup> )	Prof. (cm)	Áreas avaliadas			CV (%)
		Pastagem	ILP	Cerrado	
Pt-OH	0-5	52 b	66 a	64 a	8,45
	5-10	45 b	68 a	50 b	11,82
Pi-OH	0-5	30 b	48 a	36 b	11,58
	5-10	28 b	51 a	26 b	16,41
Po-OH	0-5	22 b	19 b	27 a	11,60
	5-10	17 b	17 b	24 a	16,78

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem pelo teste de Tukey à 5 %; ILP: integração lavoura-pecuária; CV: coeficiente de variação.

Os valores de P orgânico extraível com solução alcalina (Po-OH) da área de Cerrado diferiram das outras áreas, observando-se os maiores nesta área, com 27 e 24 mg kg<sup>-1</sup> nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente (Tabela 21). Esta fração apresenta uma grande correlação com as frações de carbono MOS (Tabela 23), e como se observou os maiores teores de carbono na área de Cerrado, possivelmente esteja ocorrendo uma forte associação do Po-OH com as frações mais estáveis do carbono, principalmente a humina. As frações mais resistentes da MOS possuem maior importância a médio e longo prazos, sendo fundamentais no ciclo do P em ambientes não antropizados.

#### 4.10.4 Po total

Na Tabela 22 é apresentado o resumo do fracionamento do fósforo orgânico do solo. O fósforo total (Pt) e o fósforo inorgânico total (Pit) apresentaram padrão semelhante nas duas profundidades avaliadas (0-5 e 5-10 cm), sendo maior para a área de ILP, seguido da área de pastagem, e por fim, a área de Cerrado com os menores teores de Pt e Pit (Tabela 22).

**Tabela 22.** Resumo do fracionamento do fósforo orgânico do solo em diferentes sistemas de manejo no Cerrado Goiano.

Atributos avaliados	Áreas avaliadas			CV (%)
	Pastagem	ILP	Cerrado	
----- 0-5 cm -----				
Pt (mg kg <sup>-1</sup> )	351 b	530 a	300 c	5,74
Pit (mg kg <sup>-1</sup> )	177 b	251 a	128 c	13,00
Pot (mg kg <sup>-1</sup> )	62 a	38 b	58 a	5,64
Pres (mg kg <sup>-1</sup> )	111 b	241 a	115 b	5,54
TR (%)	68,01 a	54,49 c	61,68 b	4,65
Po (%)	17,91 a	7,19 b	19,25 a	8,01
----- 5-10 cm -----				
Pt (mg kg <sup>-1</sup> )	312 b	542 a	260 c	3,24
Pit (mg kg <sup>-1</sup> )	139 b	279 a	102 c	4,06
Pot (mg kg <sup>-1</sup> )	46 a	36 b	49 a	10,67
Pres (mg kg <sup>-1</sup> )	127 b	221 a	110 c	5,19
TR (%)	59,41 <sup>ns</sup>	58,33 <sup>ns</sup>	57,79 <sup>ns</sup>	3,38
Po (%)	14,76 b	6,68 c	18,69 a	10,70

Médias seguidas de letras iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5 %. <sup>ns</sup>: não significativo ao teste F. ILP: integração lavoura-pecuária; CV: coeficiente de variação; **Pt**: fósforo total; **Pit**: fósforo inorgânico total; **Pot**: fósforo orgânico total; **Pres**: fósforo residual; **TR**: taxa de recuperação; **Po**: percentagem de fósforo orgânico em relação ao P total.

O fósforo orgânico total (Pot) também apresentou padrão semelhante nas duas profundidades avaliadas, sendo que a área de pastagem e Cerrado diferiram com os maiores valores, enquanto que a área de ILP apresentou os menores valores (Tabela 22). Isso é decorrente das práticas de adubação de P, que diminuem a disponibilidade de P orgânico. Beck & Sanches (1994) observaram que em solos com adubação fosfatada, a contribuição do P orgânico é de 9%, aumentado para 34% nos sistemas sem adubação. Da mesma forma, Gatiboni et al. (2005) relatam que, em solos adubados, a contribuição do P orgânico para a nutrição das plantas foi de 6%, e aumentou para 43% no solo sem adição de fertilizantes.

O fósforo residual (Pres) apresentou os maiores valores para a área de ILP nas duas profundidades avaliadas. Porém, na camada de 0-5 cm a área de pastagem e Cerrado não diferiram, já na camada de 5-10 cm a área de pastagem apresentou maior teor de Pres quando comparada com a área de Cerrado (Tabela 22). Os maiores teores de Pres da área de ILP ocorrem devido ao maior grau de cristalinização do P aos óxidos de ferro e alumínio, cujas ligações tendem à especificidade, formando compostos binucleados ou ainda a penetração do fosfato nas imperfeições do cristal (Novais & Smyth, 1999). Outro indicativo que reforça esta teoria é a menor taxa de recuperação (TR) de P observada na área de ILP na camada de 0-5 cm (Tabela 22). Isso significa que nesta área encontram-se maiores teores de P com alta energia de ligação, principalmente na forma oclusa.

As taxas de recuperação variaram de 54 a 68 % (Tabela 22). As TR encontradas por Guerra et al. (1996) variaram entre 48 e 109 %, por Cunha et al (2007b) entre 50 e 82 %, e Zaia et al. (2008) de 40 a 169 %.

As diferenças na TR observadas na camada de 0-5 cm (Tabela 22) provavelmente estejam relacionadas com a qualidade da matéria orgânica superficial, pois a TR foi maior justamente nas áreas com maiores teores de COT (Tabela 8). Já na camada de 5-10 cm não se observaram diferenças na TR entre as áreas (Tabela 22), camada na qual a influência de resíduos vegetais é menor quando comparada com a camada de 0-5 cm nos sistemas de manejo do solo sem revolvimento.

A porcentagem de fósforo orgânico (Po) foi maior para a área de Cerrado nas duas profundidades avaliadas. Já os menores valores foram encontrados para a área de ILP (Tabela 22). De maneira geral, os valores de Po variaram entre 6,68 e 19,25 %. Zaia (2005) e Cunha et al. (2007b) usando o mesmo método de determinação de Po deste trabalho, encontraram para Latossolos e Cambissolos variação de Po total de 22,6 a 39,6 % em solos florestais e de 14,6 a 24,1 % em solos de pastagens. Os valores referentes a áreas nativas e de pastagens encontrados por estes autores está semelhante ao observado neste estudo (Tabela 22).

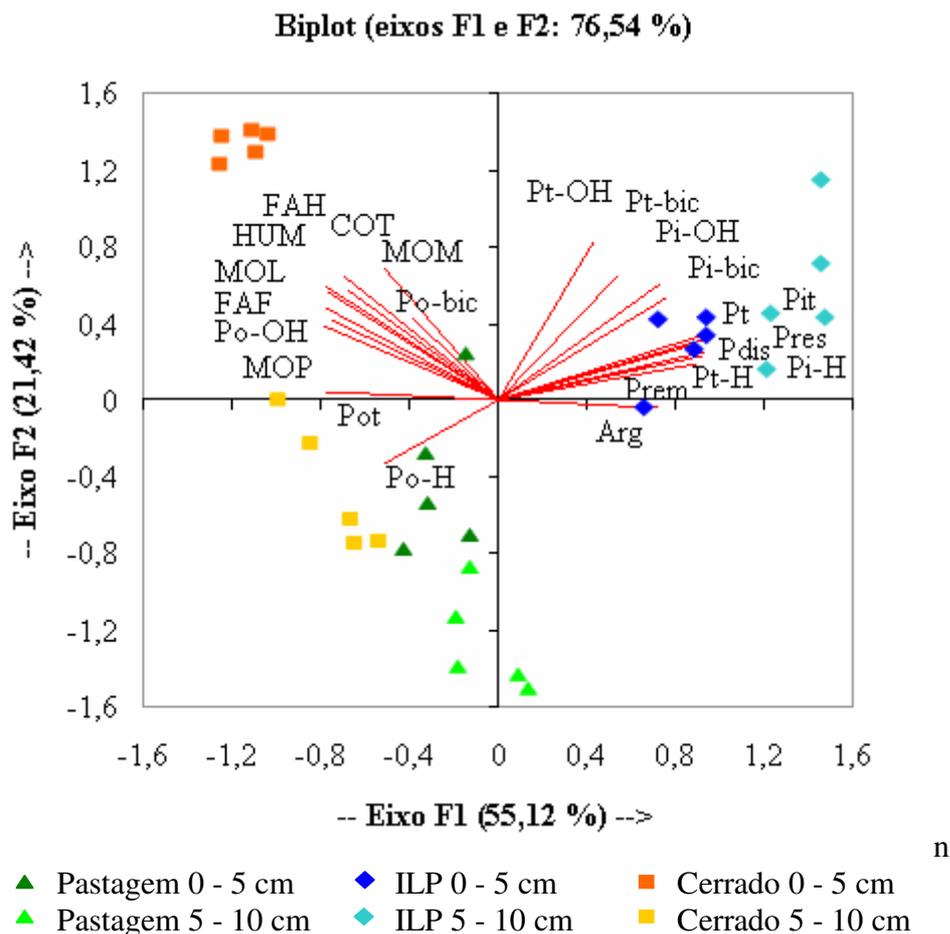
## **4.11 Interações da MOS e Po**

### **4.11.1 ACP para MOS e Po**

Os resultados da análise de componentes principais (ACP) das frações físicas e químicas da matéria orgânica e as frações de fósforo do solo podem ser observados na Figura 10. A soma dos eixos F1 e F2 pode explicar 76,54 % dos atributos avaliados, sendo que os eixos F1 e F2 explicaram 55,12 % e 21,42 %, respectivamente.

Pode-se observar que houve uma separação espacial entre as áreas, e também de suas camadas avaliadas (0-5 e 5-10 cm). Todos os atributos relacionados com a avaliação do P, com exceção das formas orgânicas, apresentaram grande associação com a área de ILP e com os teores de argila (Arg). Os atributos P total (Pt), P inorgânico total (Pit), P total extraível em solução ácida (Pt-H), P inorgânico extraível em solução ácida (Pi-H), P residual (Pres), P disponível (Pdis) e P remanescente (Prem) apresentaram uma grande semelhança de padrão, observando-se que possuem o alinhamento predominantemente no sentido do eixo F1, no qual é possível observar 55,12% de explicação dos atributos (Figura 10). De modo geral, este

padrão é decorrente das práticas de adubação fosfatadas realizadas na área de ILP em todos os anos de cultivo, elevando-se assim, as concentrações das formas inorgânicas de P, principalmente Pi-H.



**Figura 10.** Análise de componentes principais (ACP) das frações físicas e químicas da matéria orgânica e as frações de fósforo do solo em diferentes sistemas de manejo no Cerrado Goiano.

**COT:** carbono orgânico total; **FAH:** carbono da fração ácido húmico; **FAF:** carbono da fração ácido fúlvico; **HUM:** carbono da fração humina; **MOL:** carbono da fração matéria orgânica leve; **MOP:** carbono da fração matéria orgânica particulada; **MOM:** carbono da fração matéria orgânica associada aos minerais; **Pt-bic:** fósforo (P) total extraível com bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ); **Pi-bic:** P inorgânico extraível com  $\text{NaHCO}_3$ ; **Po-bic:** P orgânico extraível com  $\text{NaHCO}_3$ ; **Pt-H:** P total extraível com ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ); **Pi-H:** P inorgânico extraível com  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; **Po-H:** P orgânico extraível com  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; **Pt-OH:** P total extraível com hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ); **Pi-OH:** P inorgânico extraível com  $\text{NaOH}$ ; **Po-OH:** P orgânico extraível com  $\text{NaOH}$ ; **Pt:** P total do solo; **Pit:** P inorgânico total do solo; **Pres:** P residual do solo; **Pdis:** P disponível (Mehlich 1); **Prem:** P remanescente; **Arg:** teor de argila; ILP: integração lavoura-pecuária.

As frações orgânicas de P apresentaram associações com as áreas de Cerrado e pastagem. O P orgânico extraível em  $\text{NaHCO}_3$  (Po-bic) e P orgânico extraível em solução alcalina (Po-OH) apresentaram uma maior associação com a área de Cerrado, principalmente com a camada de 0-5 cm. Já a fração de P orgânico extraível em solução ácida (Po-H) apresentou uma associação com a área de pastagem (0-5 cm) e Cerrado (5-10 cm). Nesse sentido, observou-se que o P orgânico total (Pot) apresentou uma associação maior com a área de Cerrado, no entanto, também possui forte relação com a área de pastagem.

As frações de P inorgânico extraível com  $\text{NaHCO}_3$  (Pi-bic), P total extraível com  $\text{NaHCO}_3$  (Pt-bic), P inorgânico extraível em solução alcalina (Pi-OH) e o P total extraível em solução alcalina (Pt-OH) também apresentaram associação com a área de ILP, no entanto, demonstraram maiores tendências de associação com a área de Cerrado, principalmente as frações Pt-OH e Pt-bic. Acredita-se que estas frações de P em comparação com o Pt-H, apresentem uma maior importância em ambientes de vegetação nativa, devido as suas maiores relações com a MOS.

As áreas com ausência de adubação fosfatada e com processos mais lentos de ciclagem da MOS favorecem a formação do P orgânico, pois segundo Novais & Smyth (1999), parte do P ciclado, principalmente nas florestas, mantêm-se na forma de compostos orgânicos de maior estabilidade, permanecendo protegidos da competição exercida pela fase mineral do solo.

Em trabalho de Cunha et al. (2007b) os autores compararam áreas de diferentes formações florestais com áreas de pastagens no norte do Estado do Rio de Janeiro, e observaram que os solos sob pastagens apresentaram menores teores de Pot quando comparados aqueles sob florestas. Já Beck & Sanches (1994) constataram que houve diminuição nos teores de Po total do solo na Amazônia peruana, em decorrência da substituição de floresta natural por cultivos agrícolas sucessivos sem reposição de nutrientes por fertilização. No entanto, Garcia-Montiel et al. (2000) observaram aumento de Po no solo na conversão de floresta submontana para pastagem, no Estado de Rondônia.

Os atributos físicos e químicos da matéria orgânica apresentaram grande semelhança de padrão. Observou-se que o carbono orgânico total (COT); o carbono das frações químicas (ácido fúlvico (FAF) e ácido húmico (FAH)) e o carbono das frações físicas (matéria orgânica leve (MOL), matéria orgânica particulada (MOP) e matéria orgânica associada aos minerais (MOM)) tiveram associação com a área de Cerrado, principalmente com a camada de 0-5 cm (Figura 10). Atribui-se que a área de Cerrado possui a maior estabilidade na ciclagem da MOS, já que é um sistema permanentemente protegido da ação antrópica, permitindo a formação de compostos orgânicos de maior resistência à decomposição.

A baixa relação das frações da MOS e do P orgânico com a área de ILP (Figura 10), pode ser atribuída à redução da MOS neste sistema, pois assim como relatam Stewart & Tiessen (1987), os sistemas tropicais são altamente dependentes da MOS, portanto a sua redução conseqüentemente causaria perdas de carbono e também do P orgânico. De maneira geral, as frações orgânicas de P demonstraram possuir maior associação com as áreas de menor revolvimento do solo e menor disponibilidade de P disponível (Mehlich-1) (Tabela 4), constatando-se que o P orgânico é uma importante fonte deste nutriente em ambientes de baixa fertilidade natural e com reduzida ou nenhuma perturbação mecânica provocada pela atividade antrópica.

#### **4.11.2 Correlação da MOS e Po**

Na Tabela 23 pode-se observar os valores da correlação entre os atributos da matéria orgânica do solo (MOS) e P orgânico. Verifica-se que todos atributos de matéria orgânica apresentaram correlação significativa e positiva entre eles, com grande parte dos valores acima de 0,70 (Tabela 23). Todas estas frações são interdependentes, portanto, ao impactar o solo de um sistema causará um efeito semelhante em todas as demais frações. No entanto, é de fundamental importância o conhecimento de que algumas frações podem receber um efeito maior ou menor, dependendo da capacidade destas frações serem mais sensíveis às mudanças no manejo do solo. Porém, o objetivo maior desta análise de correlação é mostrar a relação destes atributos da MOS com as frações do P orgânico.

**Tabela 23.** Correlação de Pearson dos atributos de matéria orgânica e fósforo orgânico em solos sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado Goiano.

	COT	FAH	FAF	HUM	MO L	MOP	MO M	Po-bic	Po-H	Po-OH	Pot	Pit	Pt
COT	1,00												
FAH	<b>0,80</b>	1,00											
FAF	<b>0,83</b>	<b>0,83</b>	1,00										
HUM	<b>0,95</b>	<b>0,84</b>	<b>0,88</b>	1,00									
MOL	<b>0,92</b>	<b>0,84</b>	<b>0,86</b>	<b>0,97</b>	1,00								
MOP	<b>0,83</b>	<b>0,77</b>	<b>0,78</b>	<b>0,88</b>	<b>0,86</b>	1,00							
MOM	<b>0,94</b>	<b>0,68</b>	<b>0,71</b>	<b>0,83</b>	<b>0,78</b>	<b>0,60</b>	1,00						
Po-bic	<b>0,47</b>	0,31	<b>0,44</b>	<b>0,46</b>	<b>0,39</b>	0,34	<b>0,48</b>	1,00					
Po-H	0,24	0,06	0,25	0,16	0,16	0,17	0,26	0,09	1,00				
Po-OH	<b>0,69</b>	<b>0,74</b>	<b>0,74</b>	<b>0,77</b>	<b>0,76</b>	<b>0,67</b>	<b>0,57</b>	<b>0,47</b>	0,24	1,00			
Pot	<b>0,58</b>	<b>0,45</b>	<b>0,61</b>	<b>0,56</b>	<b>0,54</b>	<b>0,49</b>	<b>0,54</b>	<b>0,49</b>	<b>0,82</b>	<b>0,72</b>	1,00		
Pit	<b>-0,40</b>	<b>-0,45</b>	<b>-0,56</b>	<b>-0,54</b>	<b>-0,55</b>	<b>-0,62</b>	-0,19	-0,25	<b>-0,42</b>	<b>-0,54</b>	<b>-0,59</b>	1,00	
Pt	<b>-0,40</b>	<b>-0,39</b>	<b>-0,55</b>	<b>-0,52</b>	<b>-0,52</b>	<b>-0,60</b>	-0,21	-0,28	<b>-0,52</b>	<b>-0,51</b>	<b>-0,65</b>	<b>0,98</b>	1,00
Pdis	<b>-0,47</b>	<b>-0,44</b>	<b>-0,58</b>	<b>-0,57</b>	<b>-0,54</b>	<b>-0,61</b>	-0,32	-0,36	<b>-0,59</b>	<b>-0,62</b>	<b>-0,76</b>	<b>0,91</b>	<b>0,92</b>

Valores em negrito são significativos à 5% pelo teste t. **COT**: carbono orgânico total; **FAH**: carbono da fração ácido húmico; **FAF**: carbono da fração ácido fúlvico; **HUM**: carbono da fração humina; **MOL**: carbono da fração matéria orgânica leve; **MOP**: carbono da fração matéria orgânica particulada; **MOM**: carbono da fração matéria orgânica associada aos minerais; **Po-bic**: P orgânico extraível com bicarbonato de sódio (NaHCO<sub>3</sub>); **Po-H**: P orgânico extraível com ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>); **Po-OH**: P orgânico extraível com hidróxido de sódio (NaOH); **Pot**: P orgânico total do solo; **Pit**: P inorgânico total do solo; **Pt**: P total do solo; **Pdis**: P disponível (Mehlich 1).

O Po-bic apresentou correlação significativa e positiva com o COT, FAF, HUM, MOL e MOM, com valores entre 0,39 e 0,48 (Tabela 23). Somente não se observou significância com a FAH e MOP, que são respectivamente frações químicas e físicas de estabilidade intermediária. Isso quer dizer que o Po-bic demonstrou uma relação maior com as frações de maior e menor estabilidade. O Po-bic é considerado uma fração lábil de P no solo, portanto acredita-se que as frações mais lábeis da MOS estejam exercendo uma função mais ativa e participativa na disponibilidade de Po-bic. Já as frações mais resistentes da MOS, como os carbonos da HUM e MOM podem estar exercendo uma função mais reguladora e de reserva de Po-bic, podendo manter a sua disponibilidade a médio e longo prazos.

O Po-H não apresentou correlação significativa com nenhum dos atributos da MOS (Tabela 23). Possivelmente a fração de Po-H apresente uma maior relação com formas orgânicas diferenciadas das mostradas neste trabalho, como o fósforo microbiano. Isso pode ser justificado pelos maiores valores de respiração de CO<sub>2</sub> na área de pastagem (Tabela 17), na qual também se observou os maiores valores de Po-H (Tabela 20). Segundo Bowman & Cole (1978b) a fração de Po solúvel em meio ácido representa a fração de Po moderadamente lábil e está associada a substâncias não-húmicas e aos ácidos fúlvicos. Porém, com relação aos ácidos fúlvicos, os resultados observados neste estudo não estão de acordo com Bowman & Cole (1978b).

O Po-OH apresentou correlação significativa e positiva com todos os atributos da MOS, sendo que a menor correlação observada foi para a MOM (0,57) (Tabela 23). Esta foi à fração de P orgânico que mostrou a maior correlação com os atributos da matéria orgânica. Esta relação mostra que o Po-OH está estreitamente ligado com os atributos da MOS. Segundo Olsen & Sommers (1982), esta fração está associada aos ácidos húmicos ou adsorvida na superfície dos compostos de ferro e alumínio. Devido ao Po-OH ser considerado

uma fração de P orgânico moderadamente resistente, acredita-se que a humina apresente uma estreita relação com a disponibilidade de P orgânico para as plantas.

De maneira geral, o Pot apresentou correlação com todos os atributos da MOS. Isso evidencia que a dinâmica da matéria orgânica está diretamente relacionada com a dinâmica do fósforo no solo. Em trabalho realizado por Cunha et al. (2007b) no Estado do Rio de Janeiro também se observou correlação positiva entre COT e P orgânico total.

O Pit, Pt e Pdis (P disponível) apresentaram padrão semelhante, com correlações significativas e negativas para praticamente todos os atributos da MOS, com exceção da MOM (Tabela 23). Desse modo, é possível destacar que os menores teores das frações de carbono propiciam a maior disponibilidade de P inorgânico para as plantas. No entanto, isso é benéfico em curto prazo, enquanto houver matéria orgânica para se decompor, pois a médios e longos prazos possivelmente ocorrerá a redução das formas inorgânicas de P. Por isso a importância de se manter sistemas de manejo adequados da MOS para que a dinâmica do P se torne mais eficiente nos sistemas agrícolas.

As frações orgânicas de P (Po-bic, Po-H, Po-OH, e Pot) apresentaram correlações significativas e positivas entre elas, com exceção do Po-H com o Po-bic e Po-OH (Tabela 23). Possivelmente, esse padrão é devido às diferentes origens do P, sendo o Po-H proveniente de fontes microbianas, e o Po-bic e Po-OH de fontes húmicas. Com exceção do Po-H, acredita-se que as demais frações possuem as suas origens nas substâncias húmicas, as quais representam a fonte mais ativa de P orgânico no solo.

## 5 CONCLUSÕES

A densidade do solo na camada superficial (0-5 cm) foi semelhante nas três áreas avaliadas. A estabilidade de agregados foi mais afetada na camada de 0-5 cm, porém observaram-se valores elevados em todas as áreas.

A área de ILP apresentou valores de COT e N semelhantes e/ou maiores em todas as camadas de 0 a 40 cm de profundidade em comparação à área de pastagem.

As frações granulométricas de carbono (C-MOL, C-MOP e C-MOM) e nitrogênio (N-MOL, N-MOP e N-MOM) não diferiram entre as áreas de ILP e pastagem na camada de 0-5 cm. Na camada de 5-10 cm, a área de ILP apresentou os menores valores de carbono para C-MOL e C-MOP. O fracionamento granulométrico foi eficiente em detectar variações nas formas de manejo do solo.

A relação C/N da MOL está diretamente relacionada com a relação C/N dos resíduos vegetais. As variações do nitrogênio foram os maiores responsáveis na variação da relação C/N do solo e das frações físicas granulométricas.

O  $\delta^{13}\text{C}$  da MOL foi mais relacionado com a origem do carbono mais recente. O  $\delta^{15}\text{N}$  se mostrou aplicável em estudos para compreensão do grau de humificação da MOS.

A área de ILP apresentou maior acúmulo de FAF e HUM em maior profundidade (20-40 cm) em comparação à área pastagem.

O fracionamento granulométrico da MOS foi mais sensível para identificar variações na disponibilidade da MOS em comparação ao fracionamento químico.

As taxas de respirometria foram maiores na camada com maior teor de COT (0-5 cm). Os resíduos com maior relação C/N (pastagem) apresentaram maiores taxas de respirometria de  $\text{CO}_2$ .

As áreas que receberam adubação fosfatada apresentaram menor fixação de P nas camadas mais superficiais (0-5 e 5-10 cm). O Po moderadamente lábil apresentou relação com as taxas de respirometria de  $\text{CO}_2$ , mostrando indícios de que sua maior procedência seja o P microbiano.

As pastagens bem manejadas e com alguns anos de cultivo possuem potencial para transformar o P inorgânico em fontes orgânicas deste nutriente. As áreas que recebem adubação fosfatada apresentam menores proporções de fósforo orgânico.

As frações inorgânicas de P se relacionam com as áreas que recebem maiores doses de adubação fosfatada, enquanto que as frações orgânicas de P se relacionam com áreas de baixa ou nenhuma influência antrópica. As frações orgânicas de P estão diretamente relacionadas com as frações físicas e químicas da MOS.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, M. Biodegradation and bioremediation. 2.ed. New York: Academic, 1999. 453p.
- ALVAREZ, V. H.; FONSECA, D.M. da. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.14, p.49-55, 1990.
- ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. Wallingford: CAB International, 1989. 171p.
- ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. H.; NOVAIS, R. F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. *Rev. Bras. Ci Solo*, v.27:1003-1011, 2003.
- ANTELO, J.; ARCE, F.; AVENA, M.; FIOL, S.; LÓPEZ, R.; MACÍAS, F. Adsorption of soil humic acid at the surface of goethite and its competitive interaction with phosphate. *Geoderma*, v.138, p.12-19, 2007.
- BALESDENT, J., MARIOTTI, A. Measurement of soil organic matter turnover using  $^{13}\text{C}$  natural abundance. In: BOUTTON, T. W.; YAMASAKI, S. (Eds). *Mass Spectrometry of Soil*. New York: Marcel Dekker, 1996. p.83-111.
- BALESDENT, J.; MARIOTTI, A.; GUILLET, B. Natural  $^{13}\text{C}$  abundance as a tracer for studies of soil organic matter dynamics. *Soil Biology Biochemistry*, v.19, p.25-30, 1987.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S. V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, v.54, p.101-109, 2000.
- BECK, M. A.; SANCHES, P. A. Soil phosphorus fraction dynamics during 18 years of cultivation on a Typic Paleudult. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.58, p.1424-1431, 1994.
- BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 7p. (Embrapa Solos. Comunicado Técnico, 16).
- BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; GERALDES, A. P. A.; FERNANDES, S. A. P. Carbono e nitrogênio em solo de uma cronossequência de floresta tropical – pastagem de Paragominas. *Scientia Agrícola*, v.56, p.777-783, 1999.
- BODDEY, R. M.; PEOPLES, M. B.; PALMER, B.; DART, P. Use of the  $^{15}\text{N}$  abundance technique to quantify biological nitrogen fixation by woody perennials. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.57, p.235-270, 2000.
- BOER, C. A.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; BARROSO, A. L. L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F. R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, p.1269-1276, 2007.
- BOWMAN, R. A. A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and dilute base for soil organic phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.53, p.362-366, 1989.
- BOWMAN, R. A.; COLE, C. V. An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soils. *Soil Science*, v.125, p.95-101, 1978b.

- BOWMAN, R. A.; COLE, C. V. Transformation of organic phosphorus substrates in soil as evaluated by NaHCO<sub>3</sub> extraction. *Soil Science*, v.125, p.95-101, 1978a.
- BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. *Revista Ceres*, v.21, p.73-85, 1974.
- BREMER, E.; ELLERT, B.; JANZEN, H. Total and light-fraction carbon dynamics during four decades after cropping changes. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.59, p.1398-1403, 1995.
- BUYANOVSKY, G. A.; ASLAM, M.; WAGNER, G. H. Carbon turnover in soil physical fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.58, p.1167-1173, 1994.
- CAMARGO, M. S de; BARBOSA, D. S.; RESENDE, R. H.; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S. Fósforo em solos de cerrado submetidos à calagem. *Bioscience Journal*, v.26, p.187-194, 2010.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.56, p.777-783, 1992.
- CARNEIRO, M. A. C.; ASSIS, P. C. R.; MELO, L. B. de C.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; SILVEIRA NETO, A. N. da. Atributos bioquímicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.38, p.276-283, 2008.
- CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade dos agregados de Latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.14, p.99-105, 1990.
- CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R. de; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.34, p.277-289, 2010.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico em um Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.22, p.527-538, 1998.
- CAUSARANO, H. J.; FRANZLUEBBERS, A. J.; SHAW, J. N.; REEVES, D. W.; RAPER, R. L.; WOOD, C. W. Soil organic carbon fractions and aggregation in the Southern Piedmont and coastal plain. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.72, p.221-230, 2008.
- CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Advances in Soil Science*, v.20, p.2-90, 1992.
- CHRISTENSEN, B. T. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. In: CARTER, M. R.; STEWART, B. A. (Eds). *Advances in Soil Science - Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils*. Boca Raton: CRC Lewis Publishers, 1996. p.97-165.
- COMPTON, J. E.; BOONE, R. D. Long-term impacts of agriculture on soil carbon and nitrogen in New England forests. *Ecology*, v.81, p.2314-2330, 2000.
- 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. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.29, p.777-788, 2005.
- CONCEIÇÃO, P. C.; BOENI, M.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio no estudo da proteção física da matéria orgânica em solos. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.32, p.541-549, 2008.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E. D.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.23, p.425-432, 1999.

COSTA JUNIOR, C., PICCOLO, M., CAMARGO, P., BERNOUX, M., SIQUEIRA NETO, M. Nitrogênio e abundância natural de  $^{15}\text{N}$  em agregados do solo no bioma Cerrado. *Ensaio e Ciência*, v.15, p.47-66, 2011. Disponível em: <<http://sare.anhanguera.com/index.php/rencs/article/view/2693>>. Acesso em: 14 fev. 2012.

COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. de. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, p.1185-1191, 2006.

CRUSCIOL, C. A. C.; COTTICA, R. L.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, p.161-168, 2005.

CUNHA, G. M.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; COSTA, G. S.; VELLOSO, A. C. X. Fósforo orgânico em solos sob florestas montanas, pastagens e eucalipto no norte fluminense. *Rev. Bras. Ci. Solo* v.31, p.667-671, 2007b.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. de M.; CANELLAS, L. P.; NOVOTNY, E. H.; MOUTTA, R. de O.; TROMPOWSKY, P. M.; SANTOS, G. A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta). *Acta Amazônica*, v.37, p.91-98, 2007a.

CURL, E. A.; RODRIGUEZ-KABANA, R. Microbial interactions. In: WILKINSON, R. E. (Ed.). *Research methods in weed science*. Atlanta: Southern Weed Society, 1972. p.162-194.

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. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.26, p.913-923, 2002.

DENEFF, K.; SIX, J. Clay mineralogy determines the importance of biological versus abiotic processes for macroaggregate formation and stabilization. *European Journal of Soil Science*, v.56, p.469-479, 2005.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds). *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.3-22. (Special Publication, Number 35).

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

DUDA, G. P. Conteúdo de fósforo microbiano, orgânico e biodisponível em diferentes classes de solos. 2000. 158 f. Tese (Doutorado Agronomia – Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212p.

EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 ed. Brasília: Embrapa – Sistema de Produção de Informação. Rio de Janeiro: Embrapa - Solos, 2006. 306 p.

EMBRAPA/CNPM. Embrapa Monitoramento por Satélite. Banco de Dados Climáticos do Brasil. Disponível em:

<<http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/resultados/balanco.php?UF=&COD=66>>. (Acesso em: 20 set. 2011).

FARQUHAR, G. D.; O'LEARY, M. H.; BERRY, J. A. On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves. *Australian Journal of Plant Physiology*, v.9, p.121-137, 1982.

FAVORETTO, C. M.; GONÇALVES, D.; MILORI, D. M. B. P.; ROSA, J. A.; WELLINGTON, W. C.; BRINATTI, A. M.; SAAB, S. da C. Determinação da humificação da matéria orgânica de um Latossolo e de suas frações organominerais. *Química Nova*, v.31, p.1994-1996, 2008.

FELLER, C.; FRITSCH, E.; PASS, R.; VALENTIN, C. Effet de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques dans quelques sols ferrugineux et ferralitiques (Afrique de l'Ouest, en particulier). *Cahiers ORSTOM, Série Pédologie*, v.26, p.25-36, 1991.

FERNANDES, F. A.; CERRI, C. C.; FERNANDES, A. H. B. M. <sup>13</sup>C e a dinâmica do carbono orgânico do solo em pastagem cultivada no Pantanal Sul-Mato-Grossense. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2007. 19p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 74).

FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R. da; OLIVEIRA, G. C. de; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Vermelho Distrófico de Cerrado sob duas rotações de cultura. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.37, p.22-30, 2007.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; CUNHA, T. J. F.; SALTON, J. C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, p.847-853, 2006.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; SALTON, J. C.; LOSS, A.; CUNHA, T. J. F. Fósforo remanescente e correlação com as substâncias húmicas em um Latossolo Vermelho sob diferentes sucessões de cultura em plantio direto. *Revista Brasileira de Agrociência*, v.14, p.1-6, 2008.

FRAZÃO, L. A.; SANTANA, I. K. S.; CAMPOS, D. V. B.; FEIGL, B. J. Estoques de carbono e nitrogênio e fração leve da matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico sob uso agrícola. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, p.1198-1204, 2010.

GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; BRITO, E. C. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho-Amarelo na região Noroeste Fluminense (RJ). *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.31, p.1421-1428, 2007.

GARCIA-MONTIEL, D. C.; NEILL, C.; MELILLO, J.; THOMAS, S.; STEUDLER, A.; CERRI, C. C. Soil phosphorus transformation following forest clearing for pasture in the Brazilian Amazon. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.64, p.1792-1804, 2000.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; FLORES, J. P. C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.31, p.691-699, 2007.

GATIBONI, L. C.; RHEINHEIMER, D. S.; FLORES, A. F. C.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J.; LIMA, M. A. S. Phosphorus forms and availability assessed by <sup>31</sup>P-NMR in successively cropped soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.36, p.2625-2640, 2005.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; HUBNER, A. P.; LUNKES, A.; GUIDINI, E.; AMARAL, E.B. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.38, p.1097-1104, 2003.

- GOLCHIN, A.; OADES, J. M.; SKJEMSTAD, J. O.; CLARKE, P. Soil-structure and carbon cycling. *Australian Journal of Soil Research*, v. 32, p.1043-1068, 1994.
- GRAYSTON, S. J.; GRIFFITH, G. S.; MAWDESLEY, J. L.; CAMPEBELL, C. D.; BARDGETT, R. D. Accounting of variability in soil microbial communities of temperate upland grassland ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, v.33, p.533-551, 2001.
- GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R.; ANGERS, D. A.; MONREAL, C. M.; ELLERT, B. H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science*, v.74, p.367-385, 1994.
- GUERRA, J. G. M. Produção sazonal de *Brachiaria decumbens* Stapf., conteúdo de fósforo orgânico e microbiano em solos tropicais de baixa fertilidade natural. 1993. 234f. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Itaguaí.
- GUERRA, J. G. M.; SANTOS, G. A. Métodos Químicos e Físicos. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.267-292.
- GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. J.; SANTOS, G. A.; FERNANDES, M. S. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.31, p.291-299, 1996.
- GUIMARÃES SANTOS, G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M. da; SILVEIRA, P. M. da; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, p.1339-1348, 2011.
- HEDLEY, M. J.; STEWART, J. W. B.; CHAUHAN, B. S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. of Am. J.*, v.46, p.970-976, 1982.
- HÖGBERG, P. <sup>15</sup>N natural abundance in soil-plant system. *New Phytologist*, v.137, p.179-203, 1997.
- IBGE. Mapa de Biomas do Brasil. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>>. Acesso em: 13 fev. 2007.
- IBIA, T. O.; UDO, E. J. Phosphorus forms and fixation capacity of representative soils in Akwa Ibom State of Nigeria. *Geoderma*, v.58, p.95-106, 1993.
- JANZEN, H. H.; CAMPBELL, C. A.; BRANDT, S. A.; LAFOND, G. P. & TOWNLEY-SMITH, L. Light-fraction organic matter in soils from long-term crop rotations. *Sci. Soc. of Am. J.*, v.56, p.1799-1806, 1992.
- KARAMANOS, E. E.; VORONEY, R. P.; RENNIE, D. A. Variation in natural <sup>15</sup>N abundance of central Saskatchewan soils. *Sci. Soc. of Am. J.*, v.45, p.826-828, 1981.
- KASPER, M.; BUCHAN, G. D.; MENTLER, A.; BLUM, W. E. H. Influence of soil tillage systems on aggregate stability and the distribution of C and N in different aggregate fractions. *Soil Tillage Research*, v.105, p.192-199, 2009.
- KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C. A.; EVANS, D. D.; WHITE, J. L. (Eds). *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.499-510.
- KIEHL, E. K. Manual de edafologia: relações solo-planta. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262p.

- KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. Cobertura do solo na integração lavoura pecuária. In: SIMPÓSIO DE GADO DE CORTE, 2006, Viçosa. Anais...Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. p.81-156.
- KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. Integração lavoura-pecuária. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 570p.
- KOUTIKA, L-S.; NOLTE, C.; YEMEFACK, M.; NDANGO, R.; FOLEFOC, D.; WEISE, S. Leguminous fallows improve soil quality un south-central Cameroon as evidenced by the particulate organic matter status. *Geoderma*, v.125, p.343- 354, 2005.
- LAL, R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. *Environmental Pollution*, v.116, p.353-362, 2002.
- 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. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.27, p.821-832, 2003.
- LIEBIG, M. A.; TANAKA, D. L.; WIENHOLD, B. J. Tillage and cropping effects on soil quality indicators in the northern Great Plains. *Soil Tillage Research*, v.78, p.131-141, 2004.
- LOSS, A. Frações orgânicas e agregação do solo em diferentes sistemas de produção orgânico. 2008. 62f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; GIACOMO, S. G.; PERIN, A. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, p.568-576, 2011.
- LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, C. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.28, p.175-187, 2004.
- MACHADO, M. I. C. S.; BRAUNER, J. L.; VIANNA, A. C. T. Formas de fósforo na camada arável de solos do Rio Grande do Sul. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.17, n.3, p.331-336, 1993.
- MACHADO, R. B.; RAMOS NETO, M. B.; PEREIRA, P. G. P.; CALDAS, E. F.; GONÇALVES, D. A.; SANTOS, N. S.; TABOR, K.; STEININGER, M. Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Relatório técnico não publicado. Conservação Internacional, Brasília, 2004.
- MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M. da; SANTOS JUNIOR, J. de D. G. dos; SÁ, M. A. C. de; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, p.873-882, 2007.
- MARTIN NETO, L.; ANDRIULO A.; TRAGHETTA, D. G. Fracionamento físico da matéria orgânica do solo e caracterização por espectroscopia do EPR. São Carlos: Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária, 1996. 7p. (Comunicado Técnico, 10).
- MENDES, I. C.; SOUZA, L. V.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.27, p.435-443, 2003.
- MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. Matéria orgânica do solo: métodos de análises. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 107p.

- MENEZES, C. E. G.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F.; ANJOS, L. H. C. dos; PAULA, R. R.; SOUZA, M. E. Aporte e decomposição da serapilheira e produção de biomassa radicular em florestas com diferentes estágios sucessionais em pinheiral, RJ. *Ciência Florestal*, v.20, p.439-452, 2010.
- MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.; FERNANDES, F. F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUIMARÃES GUILHERME, L. R.; LIMA, J. M. de; LOPES, A. S.; ALVAREZ, V. H. (Eds.). *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa: UFV, 2003. v.3, p. 209-248.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: UFLA, 2002. 625p.
- MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analitica Chemica Acta*, v.27, p.31-36, 1962.
- MUZILLI, O. Fertilidade do solo em plantio direto. In: FACELLI, A. L.; TORRADO, P. V.; MACHADO, J. (Eds.). *Atualização em plantio direto*. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p.147-160.
- NADELHOFFER, K. J.; FRY, B. Controls on natural nitrogen-15 and carbon-13 abundances in forest soil organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.52, p.1633-1640, 1988.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Viçosa: UFV, 1999. 399p.
- OLSEN, S. R.; SOMMERS, L. E. Phosphorus. In: MILLER, R. H.; KENNEY, D. R. (Eds). *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 403-430.
- PARFITT, R. L. Anion adsorption by soils and soil materials. *Advances in Agronomy*, v.30, p.1-46, 1978.
- PARKIN, T. B.; DORAN, J. W.; FRANCO-VIZCAÍNO, E. Field and laboratory tests of soil respiration. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds) *Methods for assessing soil quality*. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.231-245. (Special Publications, Number 49).
- PARTON, W. J., SCHIMEL, D. S., COLE, C. V.; OJIMA, D. S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.51, p.1173-1179, 1987.
- PAULINO, P. V. R.; PORTO, M. O.; OLIVEIRA, A. S.; SALES, M. F. L.; MORAES, K. A. K. Integração lavoura pecuária: utilização do pasto e subprodutos. In: SIMPÓSIO DE GADO DE CORTE, 2006, Viçosa, Anais... Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. p.159-220.
- PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, p.508-514, 2010.
- PESSENDA, L. C. R.; AVARENA, R.; MELFI, A. J.; TELLES, E. C. C.; BOULET, R.; VALENCIA, E. P. E.; TOMAZELLO, M. The use of carbon isotopes ( $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) in soil to evaluate vegetation changes during the Holocene in Central Brazil. *Radiocarbon*, v.38, p.191-201, 1996.
- PÍCCOLO, M. C.; NEILL, C.; CERRI, C. C. Natural abundance of  $^{15}\text{N}$  in soils along forest-to-pasture chronosequences in the Western Brazilian Amazon Basin. *Oecologia*, v.99, p.112-117, 1994.

- RALLY DA SAFRA. Estado da Arte e Divulgação do Plantio Direto em 2010. Agroconsult. 47p. Florianópolis: maio, 2010. Disponível em: <[http://www.agrisus.org.br/arquivos/Relatorio\\_PD2010.pdf](http://www.agrisus.org.br/arquivos/Relatorio_PD2010.pdf)>. Acesso em: 03 ago. 2010.
- RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. Rev. Bras. Ci. Solo, v.31, p.1609-1623, 2007.
- RAPER, R. L. Agricultural traffic impacts on soil. Journal of Terramechanics, v.42, p.259-280, 2005.
- RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. Rev. Bras. Ci. Solo, v.24, p.345-354, 2000.
- RHEINHEIMER, D. S.; CASSOL, P. C.; KAMINSKI, J.; ANGHINONI, I. Fósforo orgânico do solo. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 2008b. p.101-112.
- RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. Ciência Rural, v.38, p.576-586, 2008a.
- ROSCOE, R.; BUURMAN, P.; VELTHORST, E. J.; PEREIRA, J. A. A.. Effects of fire on soil organic matter in a "Cerrado *sensu-stricto*" from Southeast Brazil as revealed by changes in  $\delta^{13}\text{C}$ . Geoderma, v.95, p.141-160, 2000.
- ROSCOE, R.; BODDEY, R. M.; SALTON, J. C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. (Eds). Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 304p.
- ROTH, C. H.; CASTRO FILHO, C.; MEDEIROS, G. B. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um Latossolo Roxo Distrófico. Rev. Bras. Ci. Solo, v.15, p.241-248, 1991.
- RUIVO, M. L. P.; AMARAL, I. G.; FARO, M. P. S.; RIBEIRO, E. L. C.; GUEDES, A. L. S.; SANTOS, M. M. L. S. Caracterização química da manta orgânica e da matéria orgânica leve em diferentes tipos de solo de uma topossequência na Ilha de Algodal/ Maiandeuá, PA. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências Naturais, v.1, p.227-234, 2005.
- SAEG. SAEG: sistema para análises estatísticas, versão 9.1. Viçosa: UFV, 2007.
- SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.46, p.1349-1356, 2011.
- SALTON, J.C. Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical. 2005. 158f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Faculdade de Agronomia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- SALTON, J. C., FABRÍCIO, A. C.; HERMANI, L. C. Rotação lavoura pastagem no sistema plantio direto. Informe Agropecuário, v.22, p.92-99, 2001.
- SALTON, J. C; MIELNICZUK, J; BAYER, C; BOENI, M; CONCEIÇÃO, P. C; FABRÍCIO, A. C; MACEDO, M. C. M; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. Rev. Bras. Ci. Solo, v.32, p.11-21, 2008.

- SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L.; FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do bioma Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, p.153-156, 2008.
- SANTOS, R. D. dos; LEMOS, R. C. de; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Viçosa: UFV, 2005. 95p.
- SEGNINI, A. Estrutura e estabilidade da matéria orgânica em áreas com potencial de sequestro de carbono no solo. 2007. 131f. Tese (Doutorado em Ciências – Química Analítica). Universidade de São Paulo: Instituto de Química, São Carlos.
- SILVA, C.F. Indicadores da qualidade do solo em áreas de agricultura tradicional no entorno do Parque Estadual da Serra do Mar em Ubatuba (SP). 2005. 80p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.
- SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; CORAZZA, E. J.; VIVALDI, L. Carbon storage under cultivated pastures in a clayey Oxisol in the Cerrado Region, Brazil. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, v.103, p.357-363, 2004.
- SILVA, L. L. G. G.; ALVES, G. C.; RIBEIRO, J. R. A.; URQUIAGA, S.; SOUTO, S. M.; FIGUEIREDO, M. V. B.; BURITY, H. A. Fixação biológica de nitrogênio em pastagens com diferentes intensidades de corte. *Archivos de Zootecnia*, v.59, p.21-30, 2010.
- SILVA, R. F. da; AQUINO, A. M. de; MERCANTE, F. M.; GUIMARÃES, M. de F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.41, p.697-704, 2006.
- SIX, J.; MERCHX, R.; KIMPE, K.; PAUSTIAN, K.; ELLIOT, E. T. A re-evaluation of the enrich labile soil organic matter fraction. *European Journal of Soil Science*, v.51, p.283-293, 2000.
- SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro)agregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Tillage Research*, v.79, p.7-31, 2004.
- SMITH, B. N.; EPSTEIN, S. Two categories of  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios for higher plants. *Plant Physiology*, v.47, p.380-384. 1971.
- SOLOMON, D.; LEHMANN, J.; MAMO, T.; FRITZCHE, F.; ZECH, W. Phosphorus forms and dynamics as influenced by land use changes in the sub-humid Ethiopian highlands. *Geoderma*, v.105, p.21-48, 2002.
- SPERA, S. T.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.33, p.129-136, 2009.
- STEVENSON, F.J. 1994. *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. New York: John Wiley, 1994. 496p.
- STEWART, J. W. B.; TIESSEN, H. Dynamics of soil organic phosphorus. *Biogeochemistry*, v.4, p.41-60, 1987.
- STOTZKY, G. Microbial respiration. In: BLACK, C.A., (Ed). *Methods of soil analysis: part 2*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.1550-1572.
- SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L., (Ed). *Methods of soil analysis: part 3*. Madison: America Society of Agronomy, 1996. p.1011-1020.

- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p. (Boletim técnico de solos, 5).
- TIRLONI, C.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; TIRLONI, D.; COIMBRA, D. S. Disponibilidade de fósforo em função das adições de calagem e de um bioativador do solo. *Ciência e Agrotecnologia*, v.33, p.977-984, 2009.
- TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, v.33, p.141-163, 1982.
- TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; FABIAN, A. J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, p.421-428, 2008.
- TRUMBORE, S. E. Comparison of carbon dynamics in tropical and temperate soils using radiocarbon measurements. *Global Biogeochemical Cycles*, v.7, p.275-290, 1993.
- TURNER, B. L.; MAHIEU, N.; CONDRON, L. M. The phosphorus composition of temperate pasture soils determined by NaOH-EDTA extraction and solution  $^{31}\text{P}$  NMR spectroscopy. *Organic Geochemistry*, v.34, p.1199-1210, 2003.
- VEZZANI, F. M. Qualidade do sistema solo na produção agrícola. 2001. 184f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Faculdade de Agronomia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2001.
- WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.40, p.487-494, 2005.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science Plant Analysis*, v.19, p.1467-1476, 1988.
- YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *Journal of the American Society of Agronomy*, v.28, p.337-351, 1936.
- ZAIA, F. C. Frações de fósforo do solo sob diferentes coberturas vegetais no norte fluminense e em plantios de cacau no sul da Bahia. 2005. 89f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes.
- ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C da; GAMA-RODRIGUES, E. F da; MACHADO, R. C. R. Fósforo orgânico em solos sob agrossistemas de cacau. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v.32, p.1987-1995, 2008.