

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

**DISSERTAÇÃO**

**Impacto do Sistema de Integração Lavoura**  
**Pecuária nos Estoques de Carbono e Nitrogênio**  
**em Latossolo Vermelho de Santo Antônio de**  
**Goiás-GO**

**Rafael Butke Baptista**

**2012**



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

**IMPACTO DO SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA  
NOS ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO EM LATOSSOLO  
VERMELHO DE SANTO ANTÔNIO DE GOIÁS-GO**

**RAFAEL BUTKE BAPTISTA**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Segundo Urquiaga**

*e Co-Orientação do Professor*  
**Bruno José Rodrigues Alves**

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

B222i

T

Baptista, Rafael Butke, 1986-

Impacto do sistema de integração lavoura pecuária nos estoques de carbono e nitrogênio em latossolo vermelho de Santo Antônio de Goiás-GO / Rafael Butke Baptista – 2012.

77 f.: il.

Orientador: Segundo Urquiaga.

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

Bibliografia: f. 43-52.

1. Solos – Manejo – Goiás - Teses. 2. Solos – Teor de nitrogênio – Teses. 3. Plantas – Efeito do carbono – Teses. 4. Efeito estufa (Atmosfera) – Teses. 5. Pastagens – Manejo – Goiás – Teses. I. Urquiaga Caballero, Segundo Sacramento, 1950-. 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**

**RAFAEL BUTKE BAPTISTA**

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.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 02/02/2012.

---

Segundo Sacramento Caballero Urquiaga. Dr. Embrapa Agrobiologia.  
(Orientador)

---

Marcos Gervasio Pereira. Dr. UFRRJ

---

Beata Emöke Madari. Dra. Embrapa Arroz e Feijão

*É melhor tentar e falhar, que preocupar-se e ver a vida passar.  
É melhor tentar, ainda que em vão que sentar-se, fazendo nada até o final.  
Eu prefiro na chuva caminhar, que em dias frios em casa me esconder.  
Prefiro ser feliz embora louco, que em conformidade viver.*

*Martin Luther King*

*A Deus;*  
*A minha família;*

*D e d i c o*

## AGRADECIMENTOS

À minha família. Minha mãe, Sandra Regina Butke, Sandro, Mariângela Canal, Milena, Ângela Baptista, Isabela Baptista e Darcy Tassinari, pelo apoio incondicional e incentivo durante a graduação e toda minha vida. Ao Robson Mauri, grande irmão que pude escolher. À família que Deus me deu em Seropédica, Ediclei Rosa Santos, Cláudia, Beatriz, Aimeé e Glorinha, que contribuíram de forma inestimável na minha formação como pessoa.

Ao orientador, Segundo Urquiaga, pelo grande exemplo de competência, ética, e por ser um grande “mestre”. Ao pesquisador e co-orientador Bruno Alves, por estar sempre disposto a ajudar com uma inteligência fora do comum.

À Dra. Beata Madari, pela dedicação que teve para realização desse trabalho.

Aos grandes professores do CPGA-CS - UFRRJ que contribuíram imensamente para minha formação: Nelson Moura e Lúcia Helena dos Anjos. Aos pesquisadores que sempre estiveram dispostos a me ajudar e a tirar infinitas dúvidas: Cláudia Jantália, Robert Boddey (BOB) e Janaina.

Ao coordenador e professor do CPGA-CS, Marcos Gervasio Pereira, pelo exemplo de dedicação e por ser um grande amigo.

Aos grandes amigos que fiz em Goiânia na execução desse trabalho: Adilson, Sílvio, Wesley, Ivan, Diego, Andréia, Nayra, Manoel Lino, Melissa, Walmir, Tucura, Erick, Márcio Borges, Pinheiro, dona Marlene, Sandra, dona Maria e ao grande João Paulo.

Ao Fernando Freitas, fiel escudeiro, sempre disposto a me ajudar a coletar e preparar as amostras desse trabalho em Goiás, além de ser um grande amigo em todos os momentos.

Aos grandes companheiros do alojamento da Embrapa Arroz e Feijão: Roberto Zito, Márcia Carvalho, Jonas e Ana Claudia. Grandes Amigos, grandes ensinamentos.

Aos Amigos da Embrapa e da UFRRJ: Nivaldo, Selenobaldo, Rosângela Riga, Natália Zatorre, Abmael, Zuchello, Carol Lessa, Jerusa Maia, Jakson, Rafael Fiusa, Nayara Dorigon, Rangel, Altiberto Baêta, Celmo, Josimar, Rosimar e Jesús.

À Bárbara, que foi quem me deu apoio incondicional em todos os momentos para que eu pudesse concluir esse trabalho, além de ter revisado cada palavra aqui escrita. Juntamente à sua família, João, Glória e João Augusto.

Ao Renato Moutinho, que foi responsável pelas excelentes análises isotópicas e elementares desse trabalho e de muitos que virão.

Ao grande Geraldo Baeta, amigo para todas as horas.

Ao pessoal do futebol de Alto Nível no Alojamento da Embrapa Agrobiologia.

À UFRRJ, por me formar em Agronomia e na vida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do solo da UFRRJ.

À Embrapa Agrobiologia, à Embrapa Arroz e Feijão.

Aos funcionários das instituições de pesquisa por onde passei. Em especial, ao Roberto e ao Marquinhos da Secretaria do Departamento de Solos UFRRJ, que sempre estão dispostos a ajudar com toda dedicação.

Aos órgãos financiadores, CNPq, pela bolsa de estudos concedida nesses dois anos, e aos que indiretamente apoiaram esse trabalho, FAPERJ e CAPES.

Quero agradecer a todas as pessoas que aqui não foram citadas e que fizeram parte de mais esse capítulo da minha vida. Agradecer àquelas que me ajudaram ou orientaram. Vocês, independente do tamanho da participação, já fazem parte da minha história.

E àquele que sempre me deu forças para caminhar e inspiração para viver, Jesus Cristo.

**A TODOS, MUITO OBRIGADO.**

## **BIOGRAFIA**

RAFAEL BUTKE BAPTISTA, filho mais novo de Sandra Regina Butke e Petronilho Baptista Neto, nasceu em 12 de fevereiro de 1986 no hospital São Judas Tadeu na cidade de Guarapari, estado do Espírito Santo.

BAPTISTA concluiu sem grandes pretensões seu ensino médio no Instituto Educacional Jesus Menino, quando, por não ser considerado bom aluno, motivou-se, mesmo que desacreditado, a fazer curso pré-vestibular no Sistema Anglo de ensino em Viçosa-MG no ano de 2004. Nesse ano, se dedicou aos estudos e teve a oportunidade de conviver com pessoas do meio acadêmico que o motivaram a chegar mais longe. Em 2005, foi agraciado pela oportunidade de estudar Engenharia Agrônômica na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Dedicou-se integralmente aos estudos e foi bolsista de iniciação científica da Embrapa Agrobiologia por três anos. No primeiro, foi bolsista FAPERJ, trabalhando com fixação biológica de nitrogênio no Laboratório de Gramíneas sob orientação da Dra. Vera Lúcia e Dr. Ivo Baldani. Nos outros dois anos, foi bolsista do CNPq trabalhando no Laboratório de Ciclagem de Nutrientes sob orientação do Dr. Segundo Urquiaga. Em 2009, graduou-se em Engenharia Agrônômica.

Em 2010, iniciou o mestrado em Agronomia - Ciência do Solo (CPGA-CS) pela mesma universidade, sendo novamente bolsista do CNPq. Seu fascínio pelo cerrado brasileiro e a busca por sistemas produtivos mais sustentáveis o fizeram querer estudar o sistema de integração lavoura pecuária em Goiânia-GO. Com o apoio da Embrapa Agrobiologia e Embrapa Arroz e Feijão, sob orientação do Dr. Segundo Urquiaga, realizou o presente trabalho. Com esse trabalho, foi primeiro colocado em 2010 e 2011 na categoria mestrado da Semana Científica Johanna Döbereiner.



## RESUMO

BAPTISTA, Rafael Butke. **Impacto do sistema de integração lavoura pecuária nos estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo Vermelho de Santo Antônio de Goiás-GO**. 2012. 77f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

Nas últimas décadas, existe uma preocupação com os níveis crescentes de CO<sub>2</sub> atmosférico e um grande interesse no potencial do solo em sequestrar carbono na forma de matéria orgânica. As modificações no solo promovidas pela agricultura são causas primárias da perda de carbono orgânico na forma de CO<sub>2</sub>. Sistemas de cultivo já consolidados no Brasil como o de integração lavoura/pecuária (SILP) têm potencial de contribuir para a diminuição dos teores de CO<sub>2</sub> atmosférico, mitigando as ações do efeito estufa. Para isso, a disponibilidade do nitrogênio é fundamental, uma vez que, junto ao carbono, compõe as frações mais estáveis da matéria orgânica do solo (MOS) (substâncias húmicas). O objetivo desse trabalho foi avaliar um SILP localizado na Embrapa Arroz e Feijão, região de Cerrado em Goiânia-GO. Trata-se de um experimento de longo prazo (15 anos), utilizando o SILP Santa Fé, iniciado sob área de cultivo convencional. Os tratamentos constaram de seis áreas de SILP, uma área de pastagem contínua e uma vegetação nativa de cerradão, que foi usada como controle isotópico e referência de estoque de carbono no solo. As áreas de SILP estavam em diferentes momentos da integração, de forma que, na ocasião da amostragem, as áreas 1, 2 e 6 se encontravam sob pastagens e as áreas 3, 4 e 5, sob lavouras de milho, soja e arroz. As áreas 1 e 2 foram cultivadas com adubos verdes durante quatro anos e foram as que mais permaneceram em pousio. Com o uso da técnica isotópica de  $\delta^{13}\text{C}$ , foi evidenciado que a vegetação nativa de cerradão, em uma escala de tempo geológico, no passado, foi composta predominantemente por plantas do ciclo C<sub>4</sub>. Com a mesma técnica, quando comparada com a vegetação nativa, verificou-se que a área de pastagem contínua preservou mais o carbono original do solo em uma profundidade abaixo de 60 cm. Já as áreas de SILP elevaram os sinais isotópicos até mesmo em profundidades superiores a 60 cm. Os estoques de carbono das áreas de pastagem contínua e áreas de SILP sob pastagem foram iguais ao do cerradão (t-bonferroni 5%). As áreas de SILP sob lavouras apresentaram os menores estoques de carbono (t-bonferroni 5%). Nas áreas 1, 2 e na área de pastagem contínua, observaram-se os maiores estoques de carbono dos sistemas de manejo que estiveram associados a uma menor intensidade de cultivo.

**Palavras-chave:** SILP. Efeito estufa. Sequestro de carbono. Abundância natural de <sup>13</sup>C.

## ABSTRACT

BAPTISTA, Rafael Butke. **Impact of integrated crop-livestock system in the stocks of soil carbon and nitrogen of an Oxisol in Santo Antônio de Goiás-GO.** 2012. 77p. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

In the last decades, there is a great concern due to the increase of atmospheric CO<sub>2</sub> and a growing interest in soil carbon sequestration in the form of soil organic matter (SOM). Soil disturbance caused by agriculture is the primary cause of soil organic carbon losses as CO<sub>2</sub>. Well-established production systems, such as integrated crop-livestock systems (ICLS) have the potential to contribute to reduction of atmospheric CO<sub>2</sub>, mitigating the consequences of greenhouse effect. For that, nitrogen availability is essential, once associated with carbon it constitutes the more stable fraction of SOM (humic substances). The objective of this study was to evaluate an ICLS in a Cerrado biome, located in Goiânia, state of Goiás. It is a long-term experiment (15 years), studying the Santa Fé integrated system and it started under a conventional crop production. Treatments consisted of six ICLS areas, a continuous pasture and a Cerrado native area, that was used as an isotopic control and soil carbon stock reference. ICLS areas had different integration times, so that when the samples were collected, areas 1, 2 and 6 were under pasture and areas 3, 4 and 5, under corn, soybean and rice production. Areas 1 and 2 were cultivated with green manure during 4 years, and they were under fallow most of the time. Results of isotopic techniques using  $\delta^{13}\text{C}$  in Cerrado native vegetation showed that, in a geological timescale, this area used to be covered predominantly by C<sub>4</sub> cycle plants. Using the same technique, when compared to native vegetation, it showed that continuous grassland preserved more of the original soil carbon, even deeper than 60 cm. Carbon stocks in the areas of continuous pasture and pasture areas ICLS were equal to the cerrado (t-Bonferroni 5%). The ICLS areas under crops presented the lowest carbon stocks (t-Bonferroni 5%). In the areas 1, 2 and under continuous pasture, it was observed the largest stocks of carbon of the management systems, which were associated to the lower cultivation intensity.

**Keywords:** ICLS. Greenhouse effect. Carbon sequestration. Natural <sup>13</sup>C abundance.

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Descrição referente à área experimental Fazenda Capivara, Santo Antônio de Goiás-GO.....	12
<b>Tabela 2.</b> Coordenadas geográficas, altitude e declividade da área experimental.....	14
<b>Tabela 3.</b> Produtividade média das culturas no SILP da área em estudo, média da região Centro-Oeste do Brasil e média de Goiás.....	15
<b>Tabela 4.</b> Uso das áreas onde foi implantado SILP há 15 anos e suas respectivas rotações de cultura ao longo do inverno e verão de 1995 até a 2010. ....	16
<b>Tabela 5.</b> Uso das áreas nos 15 anos de SILP organizados em função do número de cultivos de cada espécie vegetal.....	17
<b>Tabela 6.</b> Uso das áreas nos 15 anos de SILP organizado em função do ciclo fotossintético das plantas cultivadas, quando ocuparam a área. ....	17
<b>Tabela 7.</b> Adubações e calagens em kg ha <sup>-1</sup> nas áreas 1, 2 e 3 ao longo dos 15 anos do SILP nas estações de inverno e verão.....	18
<b>Tabela 8.</b> Adubações e calagens em kg ha <sup>-1</sup> nas áreas 4, 5 e 6 ao longo dos 15 anos do SILP nas estações de inverno e verão.....	19
<b>Tabela 9.</b> Preparo do solo do SILP ao longo dos 15 anos, nas estações de inverno e verão...21	
<b>Tabela 10.</b> Densidade do solo nos diferentes intervalos de profundidade das seis áreas sob Sistema de Integração Lavoura Pecuária (SILP), Pastagem e Cerradão. ....	26
<b>Tabela 11.</b> Teor de argila nos diferentes intervalos de profundidade das seis áreas sob Sistema de Integração Lavoura Pecuária (SILP), Pastagem e Cerradão.....	27
<b>Tabela 12.</b> Fertilidade do solo nos diferentes intervalos de profundidade das seis áreas sob Sistema de Integração Lavoura Pecuária (SILP), Pastagem e Cerradão. ....	30
<b>Tabela 13.</b> Estoques de carbono e nitrogênio nos intervalos de profundidade de 0-100 cm e 0-40 cm com as respectivas relações C/N das seis áreas sob Sistema de Integração Lavoura Pecuária (SILP), Pastagem e Cerradão. ....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Uso das áreas ao longo do tempo. Dados Fornecidos gentilmente pela Embrapa Arroz e Feijão através do Dr. Michael Thung. \*histórico detalhado na Tabela 4..... 13
- Figura 2.** Imagem aérea da área experimental no ano de 2002 indicando as áreas de SILP, pastagem e cerradão. Fonte: Google Earth (Capturada em 12/07/2011)..... 14
- Figura 3.** Esquema da disposição das trincheiras feitas em cada quadrante (repetições) na área experimental. .... 22
- Figura 4.** Abundância natural de  $^{13}\text{C}$  nos diferentes intervalos de profundidade das seis áreas sob Sistema de Integração Lavoura Pecuária (SILP), Pastagem e Cerradão. \*Barras horizontais representam a diferença mínima significativa (DMS) pelo teste t com correção de Bonferroni a 5% de probabilidade. .... 28
- Figura 5.** Teores de carbono do solo nos diferentes intervalos de profundidade das seis áreas sob Sistema de Integração Lavoura Pecuária (SILP), Pastagem e Cerradão. \*Barras horizontais representam a diferença mínima significativa (DMS) pelo teste t com correção de Bonferroni a 5% de probabilidade. .... 32
- Figura 6.** Teores de nitrogênio do solo nos diferentes intervalos de profundidade das seis áreas sob Sistema de Integração Lavoura Pecuária (SILP), Pastagem e Cerradão. \*Barras horizontais representam a diferença mínima significativa (DMS) pelo teste t com correção de Bonferroni a 5% de probabilidade. .... 34
- Figura 7.** Relação carbono/nitrogênio do solo nos diferentes intervalos de profundidade das seis áreas sob Sistema de Integração Lavoura Pecuária (SILP), Pastagem e Cerradão. \*Barras horizontais representam a diferença mínima significativa (DMS) pelo teste t com correção de Bonferroni a 5% de probabilidade. .... 35
- Figura 8.** Correlação entre os teores de carbono e nitrogênio total de todas as áreas em todas as profundidades independente do manejo. \*\*Significativo a 1% de probabilidade. .... 36

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>3</b>
2.1. Caracterização das Fitofisionomias do Cerrado .....	3
2.2. O Solo como Estoque de Carbono .....	3
2.3. Importância da Matéria Orgânica nos Solos do Cerrado .....	4
2.4. A Importância do Nitrogênio na Preservação do Carbono no Solo .....	4
2.5. Sistemas de Plantio que Promovem a Elevação dos Teores de Carbono no Solo .....	5
2.6. Sistema de Integração Lavoura Pecuária (SILP) no Cerrado .....	7
2.7. Sistema de Integração Lavoura Pecuária Santa Fé .....	9
2.8. Uso da Técnica de <sup>13</sup> C no Estudo da Dinâmica da Matéria Orgânica do Solo .....	9
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>12</b>
3.1. Local do Experimento .....	12
3.2. Descrição Experimental do SILP da Fazenda Capivara .....	13
3.3. Análises Realizadas .....	22
3.3.1. Densidade do solo .....	22
3.3.2. Análise do teor de argila .....	22
3.3.3. Fertilidade do solo .....	22
3.3.4. Abundância natural de <sup>13</sup> C .....	23
3.3.5. Carbono e nitrogênio total do solo .....	23
3.3.6. Cálculo dos estoques de carbono e nitrogênio do solo .....	23
3.4. Delineamento Experimental e Análises Estatísticas .....	24
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>25</b>
4.1. Validação da Área Para o Estudo de Mudança nos Estoques de Carbono e Nitrogênio do Solo .....	25
4.1.1. Densidade do solo .....	25
4.1.2. Teor de argila .....	26
4.1.3. Distribuição da abundância natural de <sup>13</sup> C no perfil do solo e origem do carbono .....	27
4.2. Fertilidade do Solo .....	29
4.3. Teores de Carbono e Nitrogênio do Solo .....	31
4.4. Estoques de Carbono e Nitrogênio do Solo .....	36
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>41</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>42</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>43</b>
<b>8. ANEXOS</b> .....	<b>53</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o conseqüente aumento na demanda de alimentos, fibras e bioenergia têm pressionado o setor agrícola brasileiro para uma maximização da produção baseada no aumento da área explorada e aumento da produtividade. No mercado atual, destaca-se a busca por alimentos seguros e de qualidade, produzidos com sustentabilidade ambiental e responsabilidade social, requisitos fundamentais para inserção no mercado do agronegócio, tendo em vista tornar o Brasil líder na produção mundial de alimentos.

O Brasil possui, aproximadamente, 200 milhões de hectares de pastagens, cultivadas e nativas, sendo que cerca de 30% (60 milhões de ha) das pastagens cultivadas estão localizadas no bioma do Cerrado (SANO et al., 2008). Estima-se que 70% estejam em algum estágio de degradação, com baixas produtividades, levando a sérios problemas de ordens econômica, social e ambiental. No cerrado, estima-se ainda que haja 17 milhões de hectares ocupados por lavouras, principalmente em monocultivos, onde observa-se a queda da produtividade, necessitando dessa forma, do aumento do uso de insumos, o que tem levado a riscos ambientais e insustentabilidade do sistema.

A competitividade e a sustentabilidade agroecológica e socioeconômica da agropecuária nos cerrados devem ser tomadas como metas, e as alternativas para o alcance destes benefícios são: a redução dos custos de produção com base na rotação de culturas; o manejo adequado do solo; o aumento do uso do Sistema de Plantio Direto (SPD); o uso intensivo da área durante todo ano com a intensificação do uso da safrinha e o fortalecimento e expansão do sistema de integração lavoura-pecuária, objetivando a produção de forrageiras, madeira e de grãos de forma sustentável.

É conhecido que o Sistema de Integração Lavoura-Pecuária (SILP) promove a recuperação da produtividade de áreas degradadas de forma vantajosa, uma vez que o custo da recuperação é pago somente pelas lavouras anuais que depois de colhidas deixam o solo com um maior nível de fertilidade, resultante do fertilizante aplicado na cultura anterior, e que não foi utilizado por esta, tornando dessa forma as áreas adequadas à implantação das pastagens. LANDERS (2007) em seus estudos tem mostrado que os benefícios para os sistemas agrícolas e pecuários são maiores quando são desenvolvidos em conjunto, gerando respostas econômicas e ambientais positivas (ALLEN et al., 2007). Ainda, a alternância das culturas aumenta a produtividade em função da melhoria na fertilidade e agregação do solo, melhora o controle de plantas infestantes, quebra o ciclo de doenças e pragas e aumenta a disponibilidade de forragem durante o período de pastejo (MC KENZIE et al., 1999; LANDERS, 2007), principalmente, na entressafra, quando tem-se observado maiores dificuldades na obtenção de forragem para o rebanho.

Em função dessa série de benefícios, o governo brasileiro criou o programa de agricultura de baixa emissão de carbono (ABC) com o objetivo de aprimorar a produção de alimentos com significativa diminuição do impacto ambiental. Este programa tem o suporte dos sistemas sustentáveis compostos pelo SILP como estratégia para a recuperação das pastagens degradadas e sequestro de carbono atmosférico no solo através das culturas. No entanto, embora a eficiência na recuperação das pastagens seja uma realidade, pouco se sabe sobre o potencial desses sistemas em sequestrar carbono com fins de mitigação do efeito estufa.

JANTÁLIA et al. (2007) e MARCHÃO et al. (2009) mostraram que o SILP pode ser promissor em elevar os estoques de carbono no solo. No entanto, faltam informações para determinar e esclarecer o potencial desses sistemas, em longo prazo, nas diferentes regiões de Cerrado, de promover, ou não, o acúmulo de matéria orgânica no solo, indicando o grau de sustentabilidade, e seu potencial de retirar o CO<sub>2</sub> da atmosfera e armazenar no solo (o chamado “sequestro de carbono”).

Assim, os objetivos do presente estudo foram:

- a) determinar o efeito do sistema de integração lavoura pecuária sobre os estoques de carbono do solo em comparação à vegetação nativa de Cerrado (Cerradão) e pastagem contínua;
- b) quantificar os estoques de carbono e nitrogênio do solo em sistema integrado lavoura-pecuária, visando identificar o efeito da sequência de culturas sobre a dinâmica do carbono no sistema.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Caracterização das Fitofisionomias do Cerrado

As savanas tropicais ocupam próximo de 15% da área total da terra. O Cerrado, a principal região de savana ao sul do Equador, que representa próximo de 9% da área total de savanas do mundo, encontra-se inteiramente dentro do Brasil, ocupando principalmente a região central do país, cobrindo cerca de 200 Mha (aproximadamente 23% do território) (MEIRELLES, 2005).

Fisionomicamente, o Cerrado é uma savana mais ou menos densa, com uma cobertura herbácea contínua, de 50 a 70 cm de altura, e com um dossel descontínuo de elementos arbóreos e arbustivos, de galhos retorcidos, cascas espessas e, em muitas espécies, grandes folhas coriáceas. Essa fisionomia (Cerrado “*strictu-sensu*”) dá unidade geográfica à região, que ocupa 67% da superfície (ADÁMOLI et al., 1985). Entretanto, o referido bioma apresenta três estratos vegetativos bem definidos: herbáceo, arbustivo e arbóreo. As diferentes proporções de cada um desses estratos definem os diferentes tipos fitofisionômicos: campo limpo, campo sujo, cerrado ralo, cerrado típico (“*strictu-sensu*”), cerradão, entre outros (RIBEIRO e WALTER, 1998). Ecologicamente, os dois principais fatores determinantes da presença dos Cerrados são os solos ácidos, de baixa fertilidade, e o clima estacional. No entanto, existem outros tipos fisionômicos aos quais se associam determinados fatores. Por exemplo, quando as condições ambientais acima expostas se somam à ocorrência de solos arenosos, litólicos ou hidromórficos, que implicam diferentes tipos de limitações adicionais, as fisionomias resultantes tendem a formas mais abertas (Campo Cerrado, Campo Sujo ou Campo Limpo), que ocupam 12% da superfície regional. Ao contrário, quando ocorrem condições ambientais que implicam compensações parciais, hídricas ou edáficas, as fisionomias tendem a formas mais densas, como Cerrado denso ou Cerradão, que cobrem 10% da área (ADÁMOLI et al., 1985). Sistemas com pastagem têm contribuído com os maiores incrementos de carbono no solo.

### 2.2. O Solo como Estoque de Carbono

A matéria orgânica do solo é o maior compartimento terrestre de estoque de carbono no planeta, estimado em 2500 Pg, seguido pela atmosfera (760 Pg) e a vegetação terrestre (620 Pg) (LAL et al., 1999) (1 Pg = 1 peta grama =  $10^{15}$  ou 1 bilhão de toneladas). Na mudança do uso da terra, os estoques de carbono da biomassa aérea e subterrânea (raízes) e do solo aumentam ou diminuem. No desmatamento de matas densas de florestas tropicais úmidas, como da Amazônia ou da Mata Atlântica, a perda do C só na parte aérea pode estar entre 100 e 150 Mg ha<sup>-1</sup>. Já no bioma Cerrado “*strictu-sensu*”, na mais extensa destas regiões brasileiras, estima-se que a remoção e queima da vegetação nativa pode resultar numa perda do C para a atmosfera, somando a parte aérea e as raízes da vegetação, a uma magnitude de 20 e 40 Mg ha<sup>-1</sup> (BRAZ et al., 2010).

Nas regiões de florestas densas, como a Mata Atlântica e Floresta Amazônica, os estoques do C do solo, tipicamente variam entre 50 a 200 Mg C ha<sup>-1</sup> (0-100 cm), e podem ser semelhantes ao estoque de C na biomassa vegetal. Na região do Cerrado também se encontram no solo quantidades de C semelhantes, mas essas são maiores do que na vegetação nativa (BUSTAMANTE et al., 2006). Entretanto, a maior proporção do carbono no solo encontra-se na matéria orgânica humificada e/ou na forma de carvão



pirogênico (JANTALIA et al., 2007), sendo este último pouco dinâmico no sistema solo, tendo baixos níveis de mineralização e oxidação.

### **2.3. Importância da Matéria Orgânica nos Solos do Cerrado**

O cerrado é, sem sombra de dúvida, uma região que tem grande potencial como produtora de alimentos e energia para suprir as necessidades do país e de outras partes do mundo. O clima é estacional, com um período chuvoso de outubro a março sucedendo a um período seco, de abril a setembro (apud SANTOS et al., 2008). A precipitação média anual é de 1500 mm e as temperaturas são geralmente amenas ao longo do ano, entre 22 °C e 27 °C em média. De todas as ecorregiões tropicais do mundo, as quais totalizam 4,9 bilhões de ha, o Cerrado, com seus 207 milhões de ha, representa, aproximadamente, 4,22% (RESCK et al., 2006). Em 2006, segundo dados da CONAB (2011), a contribuição do Cerrado para a produção do país foi de: grãos, 39%; algodão, 92%; café, 58%; cana-de-açúcar, 21%; rebanho bovino, 43%; madeira para papel e celulose, 12%; e carvão vegetal, 92%.

A despeito da contribuição expressiva na produção agropecuária nacional, os solos no Cerrado caracterizam-se, na sua grande maioria, por serem altamente intemperizados com baixa fertilidade natural, com a fração argila constituída essencialmente por minerais de argila 1:1 (com pouca ou nenhuma substituição isomórfica) e óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al), o que determina uma baixa densidade de carga superficial líquida negativa e, em consequência, baixa capacidade de troca catiônica (CTC), quando comparada aos minerais 2:1 e à própria matéria orgânica do solo (MOS). A maior porção da CTC desses solos é proveniente da contribuição da MOS, por ionização de grupos carboxílicos enólicos e fenólicos, devido a aumentos no pH do meio (apud SANTOS et al., 2008). A MOS desempenha, também, papel importante na reciclagem de nutrientes via ação dos organismos do solo, como fonte de energia e de substrato, no tamponamento do solo em relação as alterações de pH, na construção e na manutenção de sua estrutura, na adsorção e armazenamento de água (SILVA & RESCK, 1997a).

### **2.4. A Importância do Nitrogênio na Preservação do Carbono no Solo**

Vários estudos de longo prazo foram estabelecidos nos anos 80 e 90 do século passado, com tratamentos com diferentes rotações de culturas e manejo do solo (tipos de aração, plantio direto, entre outros). Inicialmente os objetivos destes estudos foram de examinar a transmissão de doenças e pragas das culturas e os efeitos destes diferentes tratamentos nas condições físicas, químicas e biológicas do solo, e o controle da erosão. Entretanto, estes estudos tornaram-se plataformas ideais para estudar as mudanças dos estoques de matéria orgânica do solo com as diferentes práticas de manejo, facilitando assim a avaliação da sustentabilidade destes sistemas e a emissão ou sequestro do CO<sub>2</sub> atmosférico no solo ao longo dos anos.

Os primeiros estudos resultantes de amostragens destes experimentos de longo prazo mostraram que os estoques de C foram consideravelmente maiores sob o sistema de plantio direto (SPD) quando comparados ao plantio convencional (PC) após somente 5 a 9 anos (SIDIRAS & PAVAN, 1985; BAYER & MIELNICZUK, 1997; BAYER & BERTOL, 1999; BAYER et al., 2000; AMADO et al., 2001). Em todos estes estudos uma leguminosa forrageira ou de adubação verde foi incluída nas rotações e as amostras foram retiradas somente até uma profundidade de no máximo 30 cm. Entretanto, em outros experimentos de longa duração, realizados na região sul do Brasil, conduzidos na

Embrapa Soja (Londrina, PR) e Embrapa Trigo (Passo Fundo, RS), não foram detectadas diferenças nos estoques de C no solo até profundidades de 40 ou 100 cm em uma sequência contínua de trigo-soja após 13 ou 16 anos de condução (MACHADO & SILVA; 2001; FREIXO et al., 2002; SISTI et al., 2004)

Nos estudos de MACHADO & SILVA (2001) e FREIXO et al. (2002) a única leguminosa nas rotações foi a soja. Resultados obtidos utilizando a técnica da abundância natural de  $^{15}\text{N}$  (SHEARER & KOHL, 1986; BODDEY et al., 2000), e a técnica de abundância de ureídeos (HERRIDGE, 1982), para quantificar a contribuição da fixação biológica de  $\text{N}_2$  (FBN), mostraram que soja pode obter 70 a 80% do seu nitrogênio desta fonte, mas a proporção do N da planta exportado do campo na forma de grão é normalmente igual ou até maior nas condições brasileiras (ALVES et al., 2003, 2006). Por isso, a cultura de soja não faz nenhuma contribuição significativa aos estoques do N no solo e, como a matéria orgânica desses solos (MOS) normalmente tem uma razão C:N entre 11 e 13, para “sequestrar” 1 Mg C na forma da MOS é necessário ter um ingresso de aproximadamente 80 kg N no sistema. Nos estudos onde leguminosas forrageiras ou de adubação verde foram incorporadas nas rotações e a maior parte dos resíduos ficaram no campo, houve um ingresso significativo de N permitindo a formação da MOS, ou o “sequestro” de carbono no solo.

## **2.5. Sistemas de Plantio que Promovem a Elevação dos Teores de Carbono no Solo**

A mineralização da matéria orgânica em ambiente tropical é cerca de cinco vezes mais rápida que em ambientes temperados (SANCHEZ & LOGAN, 1992). No Cerrado, há predomínio de Latossolos e estes, de modo geral, apresentam textura argilosa, são bem estruturados, com alta estabilidade dos agregados, quando não antropizados (GOEDERT, 1985), profundos e bem drenados, com baixa capacidade de retenção de água, e por isso a umidade pode manter as culturas em franco desenvolvimento por no máximo oito dias (CARMO, 1997).

O uso intensivo dos solos, com práticas de manejo inadequadas, tem causado desagregação estrutural, evidenciada pela diminuição da matéria orgânica e redução do tamanho dos agregados (CAMPOS et al., 1995). A mecanização do solo, principalmente fora da faixa de sação, destrói os agregados e aumenta a oxidação da matéria orgânica (DENARDIN, 1993). Esta mobilização proporciona formação de uma camada fina em superfície e outra subsuperficial compactada, resultante da pressão exercida pelos implementos agrícolas ou dos pneus (CASTRO et al., 1987). A compactação do solo traz como consequências mudanças bruscas nas relações solo-ar-água, principalmente nos processos dinâmicos como movimentação da água, ar e nutrientes, crescimento radicular das plantas e na difusão térmica ao longo do perfil do solo (CANALLI & RODOLF, 1997).

MUZILLI (1981) observou que o manejo convencional do solo proporciona maior contato do adubo com as partículas do solo, levando a menor disponibilidade de nutrientes para as culturas, principalmente o fósforo. Portanto, deve ser adotado um sistema que permita o mínimo revolvimento do solo e manutenção dos níveis adequados de matéria orgânica, a fim de manter, em alguns casos até mesmo elevar, a capacidade produtiva dos solos.

O SPD é muito importante para as regiões tropicais (FANCELLI & FAVARIN, 1989) devido à proteção do solo e obrigatoriedade da rotação de culturas. A cobertura vegetal e os resíduos orgânicos protegem os agregados da superfície do solo contra a desagregação devido ao impacto mecânico das chuvas. Os subprodutos derivados da decomposição da matéria orgânica funcionam como agentes de formação e estabilização

dos agregados e das substâncias húmicas (HARRIS et al., 1996). O microclima úmido, favorecido pela permanência do solo coberto, favorece uma menor amplitude térmica, que proporciona um melhor desenvolvimento dos microorganismos e da fauna do solo (GASSEN & GASSEN, 1996). Uma das desvantagens é a possibilidade de sobrevivência de patógenos de plantas cultivadas, mas o aumento da MOS favorece a atividade microbiológica total (COSTA, 1997b), possibilitando a colonização de agentes antagônicos à proliferação de fitopatógenos. Outros benefícios deste sistema podem ser citados como o ganho de tempo para a semeadura, economia de combustível, melhor estabelecimento da cultura, economia de mão-de-obra, máquinas e implementos.

Diversos estudos relatam os benefícios do sistema de plantio direto no Brasil, incrementando significativos teores de carbono do solo. BAYER et al. (2006b) mostraram um aumento de 2,4 Mg ha<sup>-1</sup> com uma taxa de acúmulo de 0,30 Mg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> em Latossolo Amarelo franco-argilo-arenoso e 3,0 Mg ha<sup>-1</sup> com taxa de 0,60 Mg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> em um Latossolo Vermelho de textura argilosa.

A utilização da rotação de culturas e o emprego de adubos verdes, com objetivo de otimização dos nutrientes a partir dos efeitos residuais, diminuiu a intensidade de deficiências de nitrogênio nas culturas, como foi apresentado por diversos autores (AITA et al., 1994; BAYER et al., 1998; AMADO et al., 2000; AITA et al., 2001; HEINRICHS et al., 2001). Quando espécies leguminosas são utilizadas como cultura de cobertura, uma vantagem adicional ocorre devido à fixação biológica do N. Além disso, estas plantas possuem baixa relação C/N, que facilita a ação decompositora dos microorganismos, seu sistema radicular profundo e ramificado permite boa exploração do perfil do solo. A inviabilidade do seu uso pela rápida decomposição dos resíduos pode ser amenizada pela associação com espécies de maior relação C/N, de decomposição mais lenta (AITA et al., 2001).

Com intuito de avaliar a dinâmica do N mineral no processo de decomposição das raízes de gramíneas forrageiras e leguminosas, URQUIAGA et al. (1998) observaram decomposição mais rápida das raízes das leguminosas quando comparadas às gramíneas. A baixa relação C/N foi determinante no processo, mesmo com maiores teores de polifenóis, que poderiam interferir na taxa de decomposição.

Os primeiros estudos para avaliar as consequências do desmatamento e o uso da terra para pastagens ou produção de grãos foram feitos em experimentos de longo prazo no final da década de 1990. CORAZZA et al. (1999) avaliaram os estoques de C do solo até 100 cm sob diferentes sistemas agrícolas (pastagem, plantação de eucalipto, e áreas com produção de grãos sob PD (plantio direto) e PC (plantio convencional) com arado de aiveca e grade pesada) com cerca de 15 anos após a substituição da vegetação nativa do Cerrado. Em relação à vegetação do Cerrado usada como referência, foram observados acúmulos de C numa taxa de 1,43 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> na área sob plantio direto. Nas áreas de plantio convencional, registrou-se uma taxa de perda de C de 0,32 Mg ha ano<sup>-1</sup>. Os resultados mostraram que o solo (0 a 100 cm) sob a pastagem acumulou 150 Mg C ha<sup>-1</sup>, 16,6 Mg C ha<sup>-1</sup> a mais do que sob a vegetação do Cerrado. A taxa de acúmulo foi, em média, 0,92 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> durante os 18 anos desde o estabelecimento da pastagem. Porém todos os valores encontrados devem estar superestimados uma vez que não foi feito o desconto da compactação pela correção pela massa do solo contido no perfil conforme explicado por ELLERT & BETTANY (1995) e NEILL et al. (1997), entre outros.

No estudo realizado por ROSCOE et al. (2001) avaliando as mudanças que ocorreram na dinâmica de C e N no perfil do solo de 0-100 cm após 23 anos da substituição do Cerrado por pastagem (reformada dois anos antes do estudo), as principais reduções nos teores de C e N ocorreram na camada de 0-10 cm. Entre os

diferentes sistemas de uso e manejo do solo avaliados, foi observado que em áreas de lavoura o uso da grade pesada acarretou em menores teores de C em todo o perfil (0-100 cm), assim como na área que foi utilizado o arado de disco entre 60-80 cm.

Fazendo-se o ajuste de massa de solo com os dados de FREITAS et al. (2000), verifica-se que em ambos os sistemas de manejo do solo (Plantio Convencional e Plantio Direto) houve uma perda, em valores absolutos, de 1,6 Mg ha<sup>-1</sup> em relação ao solo sob vegetação de Cerrado. Os estoques de C sob as duas pastagens estudadas foram semelhantes, sendo de aproximadamente 12 Mg ha<sup>-1</sup> abaixo do estoque de C do solo sob a vegetação nativa do Cerrado na camada 0-40 cm. Ou seja, os sistemas de plantio avaliados ainda não promoveram um acúmulo de C ao nível do observado na área sob vegetação nativa, contrariando a conclusão obtida sem a correção de massa.

## 2.6. Sistema de Integração Lavoura Pecuária (SILP) no Cerrado

A integração lavoura-pecuária (ILP) tem sido cada vez mais recomendada para os agricultores (AYARZA et al., 1998). Entretanto, o conhecimento dos padrões do solo sob este sistema é ainda limitado no Brasil (MARCHÃO et al., 2007).

O sistema de integração lavoura-pecuária (SILP) pode ser definido como um sistema que integra duas atividades com o objetivo de maximizar racionalmente o uso da terra, infra-estrutura e mão-de-obra, diversificar e verticalizar a produção, minimizar custos, diluir os riscos e agregar valores aos produtos agropecuários, por meio dos recursos e benefícios que uma atividade proporciona à outra. As áreas de lavouras dão suporte à pecuária por meio da produção de forragem para o animal, aumento da capacidade de suporte da propriedade, permitindo a venda de animais na entressafra e proporcionando melhor distribuição de receita durante o ano (MELLO et al., 2004). A integração pode ser feita pelo consórcio, sucessão ou rotação das culturas anuais com forrageiras.

A ILP é considerada como um sistema de produção, em que vários fatores biológicos, econômicos e sociais se inter-relacionam e determinam sua sustentabilidade (BABINOT et al., 2007). De acordo com CRUZ FILHO (1990) e CARVALHO (1993), a grande vantagem esperada dessa associação é a redução de custos da formação de pastagem da espécie perene, beneficiando a planta forrageira associada. Essa integração pode proporcionar vantagens biológicas e econômicas em relação aos sistemas de produção não-integrados (ENTZ et al., 1995; ENTZ et al., 2002; MORAES et al., 2004; RUSSELLE et al., 2007; SULC & TRACY, 2007).

No bioma Cerrado existem experimentos de longo duração que têm como objetivo investigar os impactos do desmatamento, a formação de pastagens plantadas ou a produção de grãos sob PD ou PC nos estoques da matéria orgânica do solo e as implicações para a sustentabilidade destes agrossistemas e das emissões de gases de efeito estufa.

Nos anos 70, a implantação de pastagens no bioma Cerrado sucedeu a produção de grãos. Após a retirada da vegetação nativa, era realizado o plantio de arroz por um ou mais anos, visando à correção da fertilidade e à melhoria das condições do terreno, reduzindo assim os custos com a implantação das pastagens. Naquele período, o conceito de integração e/ou rotação entre agricultura e pastagens ainda não era bem assimilado, pois existia uma preocupação em ocupar a região e posteriormente em especializar e profissionalizar a atividade pecuária. Nos anos 60 do século passado, as pastagens nesta região foram formadas com gramíneas do gênero *Brachiaria* (no início principalmente *B. decumbens*). Esta espécie foi um grande sucesso e o desmatamento do Cerrado aumentou de tal maneira que em menos de 30 anos aproximadamente 50 Mha

foram plantados com esta cultura (SANO et al., 2000). Após a instalação, raramente foram aplicados adubos, e em menos de uma década estas pastagens mostraram sinais de declínio na produtividade (MACEDO, 1995).

No início da década de 90, houve um agravamento dos problemas relacionados à perda de produtividade e degradação das pastagens. Já nesta época, houve uma busca por alternativas técnicas que recuperassem ou revertessem esta situação. A rotação de culturas anuais com pastagens foi indicada como uma das alternativas para atingir este propósito (MACEDO, 2009; VILELA et al., 2011). Assim, a integração dos sistemas de produção de grãos e a pecuária constituem um novo modelo para os agricultores, os pecuaristas e os profissionais da área técnica na região de Cerrado. Para os pecuaristas, a reestruturação do modelo de exploração apresenta entraves significativos em razão de limitação financeira, técnica e humana.

Após a realização de pesquisas que buscavam avaliar o efeito de diferentes procedimentos para integrar as práticas utilizadas na lavoura e pecuária, já na década de 80, foram divulgadas as primeiras recomendações técnicas para os agricultores. Uma destas recomendações foi o sistema Barreirão, que utilizava o preparo convencional do solo para o plantio das culturas. Os procedimentos preconizados pelo sistema Barreirão permitiam o cultivo de arroz de terras altas, ou milho, para implantação da *Brachiaria brizantha*. Este modelo foi um sucesso para a recuperação das pastagens (MAGNABOSCO et al., 2001), contribuindo para uma diminuição do custo de recuperação. Recentemente, as pesquisas realizadas em 2002, no Programa de Integração de Agricultura e Pecuária da Embrapa Arroz e Feijão, e Embrapa Cerrados, demonstraram bons resultados com um sistema de recuperação onde a implantação das culturas é realizada com manejo do solo em plantio direto. Este sistema foi denominado de Santa Fé, que juntamente com uma suplementação mineral, mostraram um ganho expressivo no peso dos animais em comparação com a média da região ocupada por Cerrado, onde os animais mal conseguem manter seu peso ou, até mesmo, apresentam quedas provenientes da má qualidade da forragem disponível, especialmente na época seca (OLIVEIRA et al., 1999).

Como o sistema de integração lavoura pecuária só foi desenvolvido na década de 1990, ainda existem poucos experimentos que foram estabelecidos por um período suficiente para detectar mudanças significativas nos estoques de C no solo. Por isso, até hoje existem poucos trabalhos publicados de estudos de mudanças de estoques da MOS sob estes sistemas. Em 2006, foi publicado um trabalho preliminar sobre as mudanças de estoques do C e N nas profundidades de 40 e 100 cm em sistemas de lavoura-pecuária utilizando PD ou PC na fase de lavoura em comparação com pastagens de *Andropogon gayanus* (consorciadas com leguminosas forrageiras ou não), ou lavoura contínua utilizando PD ou PC (JANTALIA et al., 2006). O experimento foi estabelecido em 1991 e o solo foi amostrado em 2002. A pastagem de *Andropogon gayanus* não estava muito bem formada, especialmente no tratamento com baixos insumos (fertilizantes), e foi substituída por *Brachiaria brizantha*. Os resultados indicaram que na pastagem mal formada e na lavoura sob PC os estoques do C até 100 cm diminuíram entre 10 e 13 Mg C ha<sup>-1</sup>, em comparação com a área de vegetação nativa, mas nas áreas de pastagens consorciadas e na área do sistema de integração lavoura pecuária houve aumentos nos estoques de C no solo entre 4 e 8 Mg C ha<sup>-1</sup>. A lavoura contínua manteve os estoques do C muito semelhantes àqueles sob vegetação nativa. Devido ao curto período de tempo desde o estabelecimento até a amostragem (11 anos) as conclusões são preliminares e espera-se que amostragens subsequentes confirmem quais sistemas são capazes de aumentar os estoques da MOS ao longo dos anos, e quais sistemas prejudicam os níveis do C no solo.

Outra amostragem do solo deste experimento foi feita em 2004 até uma profundidade de 30 cm (MARCHÃO et al., 2009). Neste trabalho os autores registraram que o estoque do C no solo até 30 cm sob a vegetação nativa foi de 60,9 Mg C ha<sup>-1</sup> e todos sistemas de pastagem, lavoura ou lavoura/pecuária promoveram perdas do C de 1 a 8 Mg C ha<sup>-1</sup>. Estes autores corrigiram corretamente os estoques de C e N no solo pela massa do solo contido no perfil (ELLERT & BETTANY, 1995), mas os resultados foram bem diferentes daqueles obtidos por JANTALIA et al. (2006).

## **2.7. Sistema de Integração Lavoura Pecuária Santa Fé**

O sistema Santa Fé consiste na rotação de culturas anuais (milho, sorgo, milheto, arroz de terras altas e soja), com espécies forrageiras, principalmente as “braquiárias”, em áreas agrícolas, em solos bem manejados. As práticas que compõem o sistema minimizam a competição precoce da forrageira, evitando redução do rendimento das culturas anuais e permitindo, após a colheita destas, uma produção de forragem abundante e de alta qualidade que poderá abrigar parte representativa do rebanho bovino no período seco, inclusive para a produção de novilho precoce a pasto (KLUTHCOUSKI et al., 2000). Para que a exploração de um sistema de integração lavoura-pecuária seja efetuada com êxito, igual atenção deverá ser dada à qualidade genética do rebanho que utilizará essa melhor oferta de resíduos agrícolas e de forragem propiciada pelo sistema. Dessa maneira, espera-se que a produtividade global (grãos, pastagens e carne por hectare) em áreas que utilizem os sistemas de integração atinja níveis adequados para a sustentabilidade da atividade agropecuária no bioma Cerrado, reduzindo a pressão no aumento da fronteira agrícola brasileira.

Embora o SILP possa apresentar vantagens em relação a sistemas não-integrados de produção, seu sucesso depende do adequado conhecimento sobre o sistema como um todo. O manejo da propriedade deve ser realizado com o objetivo de obtenção de elevados rendimentos, dentro do conceito de sustentabilidade (MACEDO, 2009; VILELA et al., 2011).

## **2.8. Uso da Técnica de <sup>13</sup>C no Estudo da Dinâmica da Matéria Orgânica do Solo**

Práticas de manejo que interferem no processo de formação da matéria orgânica no solo possuem grande influência nas propriedades físicas e químicas do mesmo, já que a matéria orgânica constitui-se num indicador da qualidade do solo em ambientes tropicais. O carbono presente nos resíduos animais e vegetais, no processo de decomposição, será direcionado à formação de húmus ou reciclado para a atmosfera como dióxido de C (CO<sub>2</sub>). Durante esse processo, os resíduos orgânicos que não foram submetidos à ação biológica, através da interação com colóides minerais do solo, ou pelas próprias características estruturais que lhes confere recalcitrância, passam a formar o húmus ou a matéria orgânica coloidal do solo (ALVES et al., 1999). Logo, quantidade e qualidade dos resíduos implicam menor ou maior acúmulo de MO no solo, bem como na disponibilidade de nutrientes que servirão à demanda microbiana do solo.

O C possui dois isótopos estáveis na atmosfera, possuindo uma composição aproximada de 98,9% de <sup>12</sup>C e 1,1% de <sup>13</sup>C. A abundância de <sup>13</sup>C em plantas é inferior à do CO<sub>2</sub> atmosférico, indicando que ocorre uma discriminação contra o <sup>13</sup>C durante os processos fotossintéticos de incorporação do carbono à biomassa vegetal (FARQUHAR et al., 1989).

A composição isotópica de C pode ser medida pela relação de <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C das amostras em relação a um padrão internacional, expresso em termos de diferença de

$\delta^{13}\text{C}$  em relação ao padrão. O padrão internacional é um material calcário derivado de um fóssil (PDB – PeeDee Belemnite), encontrado em uma formação geológica denominada Pee Dee na Carolina do Norte, EUA. Sua relação molar entre  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  (R) é de 0,01124, os desvios em relação ao padrão são conhecidos como unidades em  $\delta$  (letra grega delta minúscula), os valores são expressos em partes por mil ( $\delta^{13}\text{C} \text{ ‰}$ ), 1 delta equivale a 1 ‰  $\delta_{\text{PDB}}^{13}\text{C}$ .

A composição isotópica das plantas em relação ao padrão PDB é determinada pela equação:

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}(\text{‰}) = \left( \frac{R_{\text{amostra}} - R_{\text{PDB}}}{R_{\text{PDB}}} \right) \times 1000$$

Onde R é a relação molar  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ .

Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  do  $\text{CO}_2$  atmosférico situam-se em torno de  $-7 \text{ ‰ } \delta_{\text{PDB}}^{13}\text{C}$  e as plantas têm valores variando de  $-11$  a  $-35 \text{ ‰ } \delta_{\text{PDB}}^{13}\text{C}$  (FARQUHAR et al., 1989). As plantas superiores que fixam  $\text{CO}_2$  através da Rubisco (Ribulose bifosfato carboxilase/oxigenase) (via  $\text{C}_3$ ), enzima que possui baixa afinidade pelo  $\text{CO}_2$ , possuem composição isotópica que varia de  $-24$  a  $-34 \text{ ‰ } \delta_{\text{PDB}}$ . Já nas plantas com mecanismo concentrador de carbono através da PEP carboxilase (fosfoenolpiruvato carboxilase) (via  $\text{C}_4$ ), com maior afinidade pelo  $\text{CO}_2$ , a composição de  $^{13}\text{C}$  encontra-se entre  $-6$  a  $-19 \text{ ‰ } \delta_{\text{PDB}}$  (SMITH & EPSTEIN, 1971).

O conhecimento da composição isotópica do carbono orgânico do solo permite conhecer a origem do C (uma marcação “*in situ*”), com relativamente menor discriminação isotópica do  $^{13}\text{C}$  pela decomposição (BALESDENT & MARIOTTI, 1987, MARTIN et al., 1990). A técnica de variação da abundância natural de  $^{13}\text{C}$  foi empregada com sucesso em vários estudos para estimar o “*turnover*” e dinâmica de carbono do solo, em longo prazo, onde o padrão fotossintético da vegetação original foi modificado (BALESDENT & MARIOTTI, 1987; MARTIN et al., 1990; SKJEMSTAD et al., 1994; JASTROW et al., 1996).

A substituição de uma vegetação de ciclo  $\text{C}_3$ , em sua maioria, por uma vegetação de plantas  $\text{C}_4$ , influirá significativamente na modificação da composição isotópica do C da matéria orgânica do solo. Dessa forma, conhecendo-se a composição isotópica inicial do solo e da nova cultura, pode-se calcular a fração de C derivado da vegetação nativa (geralmente plantas  $\text{C}_3$ ) e derivado da nova vegetação (espécies  $\text{C}_4$ ), conhecimento de grande utilidade em estudos de ciclagem do carbono no solo e na decomposição da matéria orgânica, sendo que os melhores resultados são obtidos em experimentos de longa duração (BALESDENT et al., 1988; VITORELLO et al., 1989; MARTIN et al., 1990; BONDE et al., 1992).

No processo de decomposição do material orgânico ocorre maior liberação ou perda de compostos mais ricos em  $^{12}\text{C}$ , ficando enriquecida em  $^{13}\text{C}$  em relação à matéria orgânica recém incorporada (O'BRIEN & STOUT, 1978; VITORELLO et al., 1989; MARTIN et al., 1990). Em alguns trabalhos tem-se observado um aumento de  $\delta^{13}\text{C}$  em profundidade (VOLKOFF et al., 1982; MODENESI et al., 1982, VITORELLO et al., 1989, OLIVEIRA, 2000), que corresponde a um aumento da idade da matéria orgânica, pelo processo de iluviação de material enriquecido em  $^{13}\text{C}$  para estas camadas mais profundas ou pelo tipo de ciclo fotossintético das plantas que formaram a MOS.

A característica do material a ser decomposto exerce grande influência na composição isotópica da MOS devido às diferenças na velocidade de decomposição dos diferentes compostos estruturais e/ou funcionais que as plantas possuem.

A variação da composição isotópica de C da MOS permite avaliar o efeito de práticas de cultivo e de resíduos culturais de diferente relação  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ , bem como a velocidade com que ocorre a substituição do C do solo pelas diferentes relações  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  dos resíduos das plantas, e permite aplicação de modelos que caracterizam os compartimentos de matéria orgânica do solo (CERRI et al., 1985). Através do conhecimento da composição isotópica inicial do solo e da situação atual, é possível calcular a quantidade de C derivado das duas fontes vegetais, utilizando um modelo simples padrão (*simple mixing model*), através da equação (CERRI et al., 1985; BALESSENT et al., 1988, VITORELLO et al., 1989):

$$\%MOS_F = \left[ \frac{(\delta^{13}\text{C}_B - \delta^{13}\text{C}_A)}{(\delta^{13}\text{C}_F - \delta^{13}\text{C}_A)} \right] \times 100$$

$$\%MOS_A = 100 - \%MOS_F$$

Onde,  $\%MOS_F$  é a proporção da matéria orgânica do solo derivada da vegetação nativa ( $C_3$ ), que possui uma marcação natural  $\delta^{13}\text{C}_F$ ;  $\delta^{13}\text{C}_A$  é a marcação natural da vegetação  $C_4$ ; e  $\delta^{13}\text{C}_B$  é a marcação natural do C do solo sob a nova vegetação.

Sistemas onde a matéria orgânica nativa do solo de origem  $C_3$  foi substituída por matéria orgânica derivada de culturas de ciclos  $C_3$  e  $C_4$  em consórcio ou em rotação podem ser estudados através do modelo proposto por CADISCH & GILLER (1996), que exige a implantação simultânea, sob as mesmas condições de solo, de monocultivo ( $C_4$ ) e consórcio entre  $C_3$  e  $C_4$ . Primeiramente é avaliado o estoque de C no solo derivado da mata original sob a cultura  $C_4$  em monocultura utilizando o modelo simples padrão, em seguida, supõe-se que, após o mesmo período o estoque de C no solo derivado da mata sob a cultura  $C_4$  é igual àquele sob o consórcio.

A proporção da matéria orgânica do solo derivada da nova espécie  $C_3$  (a leguminosa num consórcio de pastagem gramínea  $C_4$ /leguminosa) ( $\%MOS_I$ ) é calculada através da equação desenvolvida por CADISCH & GILLER (1996):

$$\%MOS_I = \frac{1}{\delta^{13}\text{C}_I - \delta^{13}\text{C}_g} \left[ \delta^{13}\text{C}_{gl} - \delta^{13}\text{C}_g + \frac{C_g}{C_{gl}} (\delta^{13}\text{C}_I - \delta^{13}\text{C}_g) \right]$$

Onde, a matéria orgânica do solo derivada da espécie  $C_3$  possui uma marcação característica  $\delta^{13}\text{C}_I$ ;  $\delta^{13}\text{C}_g$  é a marcação natural da espécie  $C_4$ ;  $\delta^{13}\text{C}_{gl}$  é a marcação natural do C do solo sob o consórcio;  $C_g$  e  $C_{gl}$  são, respectivamente, o conteúdo de C do solo sob a espécie  $C_4$  e sob o consórcio.



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Local do Experimento

O estudo foi realizado na área experimental da Embrapa Arroz e Feijão, Fazenda Capivara em Santo Antônio de Goiás-GO, em uma área de sistema integração lavoura pecuária implantado há 10 anos. Esta se encontra na região Centro Oeste do Brasil, pertencente ao bioma Cerrado, cujo clima regional é o tropical de savana megatérmico, marcado por duas estações bem definidas, uma chuvosa (Outubro - Abril) e outra seca (Maio – Setembro) de acordo com IBGE (1978). Geologicamente, a região é representada por rochas do complexo granulítico Anápolis-Itauçu, associação de Granulitos Ortoderivados, descritos por ARAÚJO (1994) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Descrição referente à área experimental Fazenda Capivara, Santo Antônio de Goiás-GO.

Área experimental	Santo Antônio de Goiás, GO
Clima regional	Aw (Köppen) tropical de savana megatérmico
Bioma/Vegetação nativa	Cerrado/Subcaducifólia
Fitofisionomia	Cerradão
Coordenadas geográficas	16°28'' S 49°17'' W
Altitude (m)	802
Ano de instalação do SILP	2000
Área útil por parcela SILP	≈7 ha
Área útil Pastagem Contínua	≈12 ha
Declividade (%)	<3%
Tipo de solo	Latossolo Vermelho Acriférico Típico*
Temperatura média (°C)	23°
Precipitação anual (mm)	1487

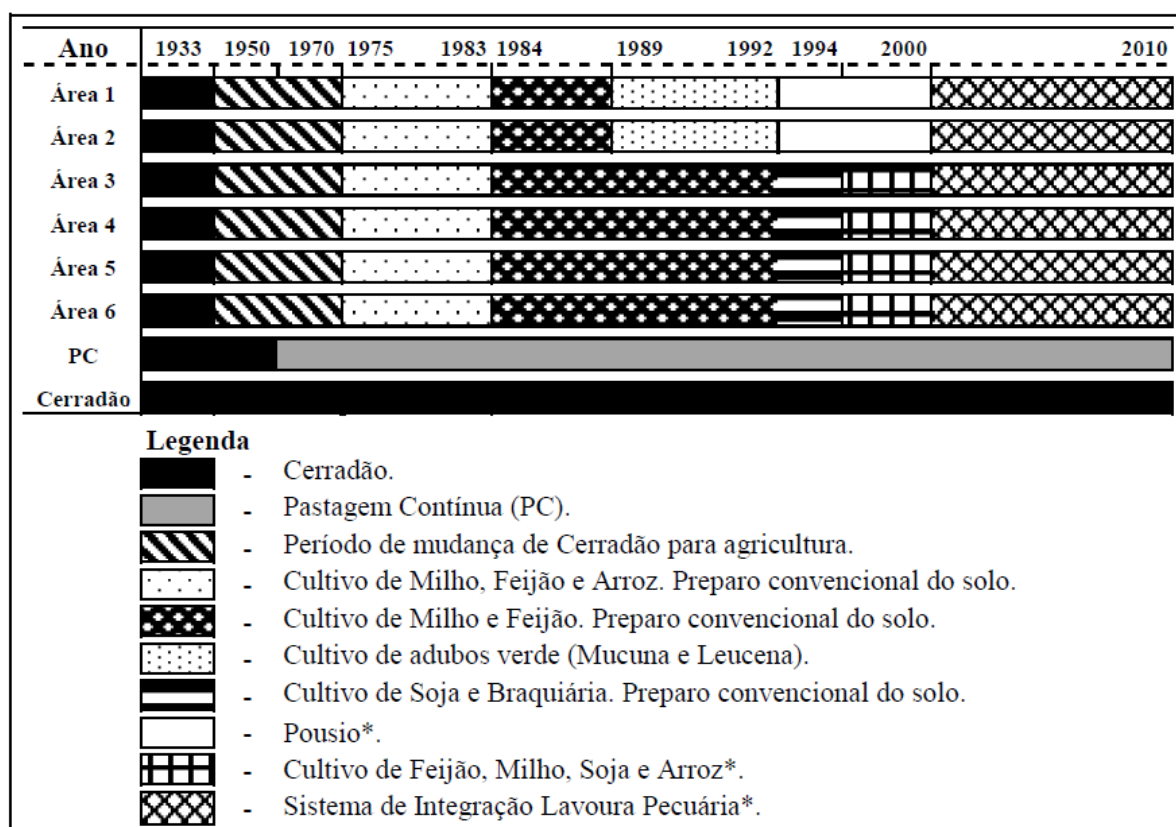
\*Descrito por SANTOS et al. (2010)

Em toda área experimental encontra-se um solo homogêneo cuja a declividade não ultrapassa 3%. Em um levantamento realizado por SANTOS et al. (2010) onde foram abertas e descritas seis trincheiras na área experimental acima mencionada, o solo foi classificado como Latossolo Vermelho Acriférico típico (EMBRAPA, 2006). Essa ordem de solo apresenta um elevado grau de intemperização, com atuação expressiva do processo pedogenético de latolização, marcado pela intensa transformação dos minerais primários resultando, na fração argila, um predomínio de minerais secundários como caulinita, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Suas principais características descritas foram: horizonte A moderado, horizonte Bw com espessura acima de 150 cm, textura muito argilosa, baixa saturação por bases ( $V < 50\%$ ), CTC variando de 9,5 (superfície) a  $1,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (sub-superfície), razão silte/argila entre 0,36 e 0,13, ki de 1,68 a 1,31,  $\Delta\text{pH}$  variando de 0 a 0,8 e teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (determinados pelo ataque sulfúrico) entre 190 e  $240 \text{ g kg}^{-1}$  (SANTOS et al., 2010).

### 3.2. Descrição Experimental do SILP da Fazenda Capivara

Trata-se de um experimento de longo prazo iniciado em 2000 sob áreas de cultivo de lavouras e pastagens (Figura 1).

Inicialmente, toda a área se encontrava sob vegetação primária de cerrado, denso, onde as copas das árvores quase se tocam, sendo observada a ocorrência de gramíneas no estrato inferior. Entre 1933 e 1950, quando o cerrado cobria toda a área, ocorreu a retirada das maiores árvores com diferentes finalidades madeireiras. Daí em diante, as áreas hoje cultivadas foram totalmente desmatadas para agricultura, restando um fragmento de cerrado, que nesse estudo foi utilizado como referência (Figura 1).

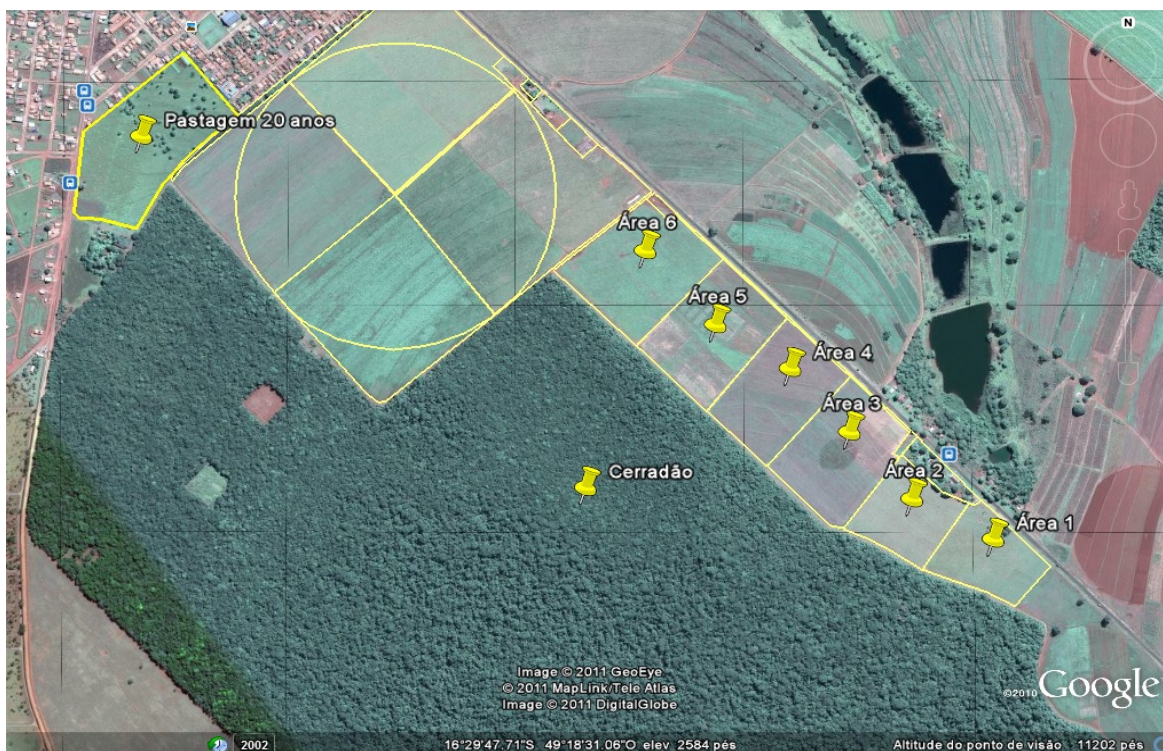


**Figura 1.** Uso das áreas ao longo do tempo. Dados Fornecidos gentilmente pela Embrapa Arroz e Feijão através do Dr. Michael Thung. \*histórico detalhado na Tabela 4.

Uma área vizinha à Fazenda Capivara foi amostrada por se tratar de uma pastagem pura (referência de plantas C<sub>4</sub>), com manejo extensivo e baixo uso de insumos. Esta foi desmatada na mesma época que as demais, ficando um período sem uso, e há aproximadamente 20 anos vem sendo usada como pastagem contínua (PC). Essa pastagem é utilizada com finalidade de recria de bovinos de corte já iniciados até o abate. São observados animais de diferentes raças, idades e pesos. A taxa de lotação não ultrapassa 1,5 unidades animal (UA) por hectare na época das águas. A queima do pasto foi o manejo utilizado para a sua renovação.

As áreas atualmente sob SILP (áreas 1, 2, 3, 4, 5 e 6) eram pertencentes ao Ministério da Agricultura e após serem desmatadas foram cultivadas com feijão, arroz de terras altas e milho até 1983, ano que o arroz parou de ser cultivado, continuando apenas o cultivo de feijão e milho (Figura 1). Em 1989, com intuito de recuperar as áreas de cultivo que já apresentavam algum estágio de degradação, foram cultivados adubos verdes *Mucuna* (*Mucuna pruriens*) e *Leucena* (*Leucaena leucocephala*) na área

referente hoje às áreas 1 e 2 do SILP, permanecendo as áreas 3, 4, 5 e 6 sob cultivo de feijão e milho (Figura 2). A partir de 1993, toda a área passou a ser cultivada com Soja e Brachiaria de forma alternada até 1995, quando o SILP foi instalado. Cabe ressaltar que até o início do SILP o preparo do solo só era feito de forma convencional, que preconiza uma aração e duas gradagens.



**Figura 2.** Imagem aérea da área experimental no ano de 2002 indicando as áreas de SILP, pastagem e cerradão. Fonte: Google Earth (Capturada em 12/07/2011).

Na Tabela 2 seguem as coordenadas geográficas, altitude e declividade das áreas amostradas referentes à foto aérea da área (Figura 2).

**Tabela 2.** Coordenadas geográficas, altitude e declividade da área experimental.

Áreas	Área 1+Área 2	Área 3+Área 4	Área 5+Área 6	Pastagem 20 Anos	Cerradão
Latitude (S)	16°30'08"	16°29'59"	16°29'44"	16°29'37"	16°29'48"
Longitude (WGr)	49°17'27"	49°17'35"	49°17'54"	49°18'38"	49°18'05"
Altitude (m)	804	801	795	776	799
Declividade (%)	3	3	2	1	2

\*Fonte: Google Earth, Dados de 2002 (Capturada em 12/07/2011).

A partir de 1995, a área foi subdividida em seis áreas de aproximadamente sete hectares dispostas conforme a Figura 2. No período de 1995 a 2010, tem-se o histórico detalhado do uso das áreas (Tabela 4). O SILP (tipo Santa Fé) iniciou-se no ano de 2000, onde a cultivo de lavouras foi realizado após aproximadamente 3,5 anos de pastagens estabelecendo-se a rotação.

Dessa forma, as áreas amostradas nesse experimento foram: seis áreas sob SILP (Santa Fé) ( $\approx 7$  hectares cada), uma área de pastagem contínua (PC) (12 hectares) e uma área de mata original de Cerradão (216 hectares) que faz fronteira com todas as áreas e

foi tomada como referência do estoque de carbono e marcação isotópica original do solo em estudo (Figura 2).

Embora as seis áreas estejam sob SILP (10 anos), existem diferenças no que diz respeito à ordem da entrada das culturas no sistema e, conseqüentemente, na cultura presente em cada área na ocasião da amostragem do solo.

Com algumas diferenças pontuais, as áreas 1 e 2 começaram em pousio até o ano de 1999, quando foi plantada a soja, e novamente entraram em pousio. Durante o pousio, foi observada a ocorrência de plantas espontâneas de diferentes espécies. Já nas áreas 3, 4, 5 e 6 foram introduzidos milho, feijão e soja nos verões até o inverno de 2000. Daí em diante, o manejo das áreas 1 e 2, 3 e 4, 5 e 6 foi semelhante destacando-se pequenas diferenças (Tabela 4). Nesses, o elemento pasto da integração entrou nos anos de 2003, 2005 e 2004, respectivamente, permanecendo até 2006, 2008 e 2007. O elemento lavoura foi então implantado com o cultivo de soja, milho, feijão e arroz. Nos anos seguintes o elemento pastagem foi cultivado novamente. Na ocasião da amostragem do solo das seis áreas, as culturas presentes eram: Área 1 - pasto, Área 2 - pasto, Área 3 - arroz, Área 4 - milho+capim (Milho com pasto no fundo da cova de plantio), Área 5 - soja e Área 6 - pasto (Tabela 4).

Para o estabelecimento da pastagem de capim Marandú (*Brachiaria brizantha* Staf. cv. Marandú) foram cultivadas anteriormente soja (após palhada de capim Marandú de três anos de formação), arroz (após a cultura da soja) e milho associado à forragem (após a cultura do arroz) no período chuvoso estabelecido pelo sistema Santa Fé, após 2,5 anos de rotação das culturas anuais. Após a colheita do milho fica estabelecida a pastagem, sendo pelos próximos 3,5 anos utilizada como pastagem continuamente. As áreas com as respectivas rotações seguem na Tabela 4.

As áreas sob pastagens foram usadas para recria de bovinos de corte da raça zebuína Nelore “BRGN” desenvolvida e melhorada para a região do cerrado. Os animais pastejavam as áreas (Tabela 4) em uma taxa de lotação média de 1,5 (inverno) e 2,7 (verão) UA ha<sup>-1</sup> com ganho de peso médio diário de 0,3 e 0,6 kg cab<sup>-1</sup>, respectivamente, até atingirem o peso ideal para o leilão anual da Embrapa.

Na Tabela 3, são apresentados os dados da produtividade média das culturas do SILP nos últimos anos. Pode-se observar que os índices de produtividade superam as médias regionais e estaduais (CONAB, 2011), mostrando indícios de que este é um sistema eficiente para a produção dessas culturas.

**Tabela 3.** Produtividade média das culturas no SILP da área em estudo, média da região Centro-Oeste do Brasil e média de Goiás.

Cultura	Produtividade SILP	N*	Produtividade Centro-Oeste	Produtividade Goiás
	(kg ha <sup>-1</sup> )		(kg ha <sup>-1</sup> )	(kg ha <sup>-1</sup> )
Soja	3466	4	3061	3000
Arroz Sequeiro	3476	2	3000	2185
Feijão**	3033	2	2631	2900
Milho - Capim	5981***	2	4407	6036
Gado	473	12	Variável	Variável

-Dados de produtividade do Centro-Oeste e Goiás extraídos da CONAB (2011). \*N = número de safras (anos) utilizado na produtividade média do SILP. \*\*Feijão (*Phaseolus vulgaris*). \*\*\*Produzido com auxílio de irrigação em períodos de estiagem crítica.

**Tabela 4.** Uso das áreas onde foi implantado SILP há 15 anos e suas respectivas rotações de cultura ao longo do inverno e verão de 1995 até a 2010.

Ano	Estação	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 6
1995	Inverno	Pousio	Pousio	Feijão	Feijão	Pousio	Pousio
1995/1996	Verão	Pousio	Pousio	Milho	Milho	Milho	Milho
1996	Inverno	Pousio	Pousio	Pousio	Pousio	Pousio	Pousio
1996/1997	Verão	Pousio	Pousio	Milho	Milho	Milho	Milho
1997	Inverno	Feijão	Pousio	Pousio	Pousio	Pousio	Pousio
1997/1998	Verão	Pousio	Pousio	Milho	Milho	Milho	Milho
1998	Inverno	Pousio	Pousio	Pousio	Pousio	Feijão	Feijão
1998/1999	Verão	Soja	Soja	Soja	Soja	Arroz	Arroz
1999	Inverno	Pousio	Pousio	Pousio	Pousio	Pousio	Pousio
1999/2000	Verão	Pousio	Pousio	Milho	Milho	Milho	Milho
2000	Inverno	Pousio	Pousio	Pousio	Pousio	Pousio	Pousio
2000/2001	Verão	Soja	Soja	Milho+Capim	Milho+Capim	Soja+Capim	Soja+Capim
2001	Inverno	Pousio	Pousio	Pasto	Pasto	Milheto	Milheto
2001/2002	Verão	Soja+Arroz	Soja+Capim	Soja+Capim	Soja+Capim	Milho+Capim	Milho+Capim
2002	Inverno	Pousio	Pousio	Milheto	Milheto	Pasto	Pasto
2002/2003	Verão	Milho+Capim	Milho+Capim	Milho+Capim	Milho+Capim	Soja	Soja
2003	Inverno	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Feijão	Feijão
2003/2004	Verão	Pasto	Pasto	Arroz	Arroz	Milho+Capim	Milho+Capim
2004	Inverno	Pasto	Pasto	Pousio	Pousio	Pasto	Pasto
2004/2005	Verão	Pasto	Pasto	Milho+Capim	Milho+Capim	Pasto	Pasto
2005	Inverno	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto
2005/2006	Verão	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto
2006	Inverno	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto
2006/2007	Verão	Soja	Soja	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto
2007	Inverno	Feijão	Feijão	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto
2007/2008	Verão	Arroz	Milho+Capim	Pasto	Pasto	Soja - Milho+Capim	Soja - Milho+Capim
2008	Inverno	Sorgo	Pasto	Pasto	Pasto	Feijão	Feijão
2008/2009	Verão	Pasto	Pasto	Soja	Pasto	Arroz	Pasto
2009	Inverno	Pasto	Pasto	Feijão	Pasto	Pousio	Pasto
2009/2010	Verão	Pasto	Pasto	Arroz	Milho+Capim	Soja	Pasto

\*Dados fornecidos pela Embrapa Arroz e Feijão.

Como observado na Tabela 4, as áreas 1 e 2 ficaram mais tempo em pousio e sob cultivo de pastagens. Já as áreas 3, 4, 5 e 6 foram mais cultivadas no início do SILP e nos últimos anos ficaram sob pastagens. Essa informação pode ser importante na interpretação dos resultados de estoques de carbono, uma vez que algumas áreas tiveram maior intensidade de cultivos enquanto outras favoreceram mais a conservação do carbono no solo pela menor perturbação do sistema com mudança de culturas. Na Tabela 5, o uso agrícola das áreas está organizado de forma a mostrar quantas vezes o solo de cada área foi cultivado com diferentes culturas.

**Tabela 5.** Uso das áreas nos 15 anos de SILP organizados em função do número de cultivos de cada espécie vegetal.

Uso do Solo	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 6
Pousio	11	12	6	6	6	5
Milho	-	-	4	4	4	4
Feijão	2	1	2	1	3	3
Soja	3	3	2	1	2	1
Soja+Capim	-	1	1	1	1	1
Milho+Capim	1	2	3	4	2	2
Milheto	-	-	1	1	1	1
Pasto	10	11	9	11	8	11
Sorgo	1	-	-	-	-	-
Arroz	1	-	2	1	2	1
Soja+Arroz	1	-	-	-	-	-
Soja+Milho+Capim	-	-	-	-	1	1
<b>Total (Sem pousio)*</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>25</b>

\*Número de vezes que o solo foi cultivado com cada cultura não considerando o pousio na soma total. Cada unidade desta tabela representa seis meses equivalentes a período das águas (Verão) e período de estiagem (Inverno).

O ciclo fotossintético das culturas do SILP é outra informação importante no estudo, através da abundância natural de  $^{13}\text{C}$ , para avaliar a influência das culturas na origem ( $\text{C}_3$  ou  $\text{C}_4$ ) do carbono orgânico do solo. Na Tabela 6 pode-se observar que todas as áreas foram cultivadas com plantas do ciclo fotossintético  $\text{C}_4$  em maior intensidade, o que dá indícios de que os valores de  $\delta^{13}$  do solo poderiam ser mais enriquecidos em carbono desta fonte, com valores próximo de  $-14\text{‰}$ . Como no período de pousio o solo fica coberto de plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ , não se contabilizou na Tabela 6, uma vez que a mudança de  $\delta^{13}$  do solo não será representativa por se ter plantas dos dois ciclos fotossintéticos.

**Tabela 6.** Uso das áreas nos 15 anos de SILP organizado em função do ciclo fotossintético das plantas cultivadas, quando ocuparam a área.

Uso do Solo	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 6
Ciclo $\text{C}_3$	7	5	7	4	8	6
Ciclo $\text{C}_4$	12	13	17	20	16	19
<b>Total - Pousio*</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>25</b>

\*Número de vezes que o solo foi cultivado com culturas dos ciclos  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ . Pousio não foi considerado. Cada unidade desta tabela representa seis meses equivalentes a período das águas (Verão) e período de estiagem (Inverno).

Informações sobre o manejo de adubação e calagem das áreas sobre SILP podem ser observadas nas Tabelas 7 e 8 a seguir, juntamente com o total de cada nutriente e calagem que cada área recebeu nos 15 anos.

**Tabela 7.** Adubações e calagens em kg ha<sup>-1</sup> nas áreas 1, 2 e 3 ao longo dos 15 anos do SILP nas estações de inverno e verão.

Ano	Estação	Área 1	Área 2	Área 3
1995	Inverno	-	-	-
1995/1996	Verão	-	-	105N + 90P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 45K <sub>2</sub> O
1996	Inverno	-	-	-
1996/1997	Verão	-	-	15N + 90P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 45K <sub>2</sub> O
1997	Inverno	-	-	2000 Calcário
1997/1998	Verão	-	-	15N + 90P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 45K <sub>2</sub> O
1998	Inverno	-	-	-
1998/1999	Verão	60K <sub>2</sub> O + 60P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	60K <sub>2</sub> O + 60P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	60P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 60K <sub>2</sub> O
1999	Inverno	-	-	-
1999/2000	Verão	18N + 105P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 52.5K <sub>2</sub> O	18N + 105K <sub>2</sub> O + 53P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	18N + 105P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 53K <sub>2</sub> O
2000	Inverno	-	-	-
2000/2001	Verão	2000 Calcário 60K <sub>2</sub> O + 60P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2000 Calcário 60K <sub>2</sub> O + 60P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2000 Calcário 60P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 60K <sub>2</sub> O
2001	Inverno	-	-	-
2001/2002	Verão	15N + 150P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 105K <sub>2</sub> O	15N + 150P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 105K <sub>2</sub> O	2000 Calcário 60P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 60K <sub>2</sub> O
2002	Inverno	2000 Calcário	-	-
2002/2003	Verão	282N + 154K <sub>2</sub> O	282N + 154K <sub>2</sub> O	2000 Calcário 288N + 159K <sub>2</sub> O
2003	Inverno	-	-	-
2003/2004	Verão	-	-	18N + 105P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 53K <sub>2</sub> O
2004	Inverno	-	-	-
2004/2005	Verão	-	-	-
2005	Inverno	-	-	-
2005/2006	Verão	-	-	-
2006	Inverno	-	-	-
2006/2007	Verão	62K <sub>2</sub> O + 62P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	62K <sub>2</sub> O + 62P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-
2007	Inverno	-	-	-
2007/2008	Verão	59N + 90P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 45K <sub>2</sub> O	59N + 90P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 45K <sub>2</sub> O	-
2008	Inverno	-	-	-
2008/2009	Verão	-	-	-
2009	Inverno	-	-	-
2009/2010	Verão	-	-	15N + 88P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 44K <sub>2</sub> O
<b>Total (kg ha<sup>-1</sup>)</b>		<b>Área 1</b>	<b>Área 2</b>	<b>Área 3</b>
	<b>Nitrogênio (N)</b>	374	374	474
	<b>Potássio (K<sub>2</sub>O)</b>	527	527	748
	<b>Fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)</b>	539	539	624
	<b>Calcário</b>	4000	2000	8000

\*Dados da Embrapa Arroz e Feijão. Fonte de N variável - Ureia, Sulfato de Amônio e Nitrato de Amônio, com predomínio do uso de Ureia. Fonte de P variável - Super Fosfato Simples e Super Fosfato Triplo. Fonte de K - exclusivamente Cloreto de Potássio.



**Tabela 8.** Adubações e calagens em kg ha<sup>-1</sup> nas áreas 4, 5 e 6 ao longo dos 15 anos do SILP nas estações de inverno e verão.

Ano	Estação	Área 4	Área 5	Área 6
1995	Inverno	-	-	-
1995/1996	Verão	105N + 90P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 45K <sub>2</sub> O	105N + 90P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 45K <sub>2</sub> O	105N + 90P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 45K <sub>2</sub> O
1996	Inverno	-	-	-
1996/1997	Verão	15N + 90P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 45K <sub>2</sub> O	15N + 90P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 45K <sub>2</sub> O	15N + 90P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 45K <sub>2</sub> O
1997	Inverno	2000 Calcário	2000 Calcário	2000 Calcário
1997/1998	Verão	15N + 90P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 45K <sub>2</sub> O	15N + 90P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 45K <sub>2</sub> O	15N + 90P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 45K <sub>2</sub> O
1998	Inverno	-	15N + 90P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 45K <sub>2</sub> O	15N + 90P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 45K <sub>2</sub> O
1998/1999	Verão	60P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 60K <sub>2</sub> O	15N + 90P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 45K <sub>2</sub> O	15N + 90P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 45K <sub>2</sub> O
1999	Inverno	-	-	-
1999/2000	Verão	18N + 105P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 53K <sub>2</sub> O	18N + 105P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 53K <sub>2</sub> O	18N + 105P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 53K <sub>2</sub> O
2000	Inverno	-	-	-
2000/2001	Verão	2000 Calcário 60P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 60K <sub>2</sub> O	60P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 60K <sub>2</sub> O	60P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 60K <sub>2</sub> O
2001	Inverno	-	-	-
2001/2002	Verão	2000 Calcário 60P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 60K <sub>2</sub> O	2000 Calcário 35N + 115P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 58K <sub>2</sub> O	2000 Calcário 35N + 115P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 58K <sub>2</sub> O
2002	Inverno	-	-	-
2002/2003	Verão	2000 Calcário 288N + 159K <sub>2</sub> O	2000 Calcário 72P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 72K <sub>2</sub> O	2000 Calcário 72P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 72K <sub>2</sub> O
2003	Inverno	-	-	-
2003/2004	Verão	18N + 105P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 53K <sub>2</sub> O	120N + 120P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 120K <sub>2</sub> O	120N + 120P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 120K <sub>2</sub> O
2004	Inverno	-	-	-
2004/2005	Verão	-	-	-
2005	Inverno	-	-	-
2005/2006	Verão	-	-	-
2006	Inverno	-	-	-
2006/2007	Verão	-	-	-
2007	Inverno	-	-	-
2007/2008	Verão	-	18N + 183P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 129K <sub>2</sub> O	18N + 183P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 129K <sub>2</sub> O
2008	Inverno	-	20N + 120P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 120K <sub>2</sub> O	20N + 120P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 120K <sub>2</sub> O
2008/2009	Verão	-	-	-
2009	Inverno	-	-	-
2009/2010	Verão	20N + 116P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 58K <sub>2</sub> O	63P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 63K <sub>2</sub> O	-
<b>Total (kg ha<sup>-1</sup>)</b>		<b>Área 4</b>	<b>Área 5</b>	<b>Área 6</b>
Nitrogênio (N)		479	376	376
Potássio (K <sub>2</sub> O)		776	1288	1225
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		638	900	837
Calcário		8000	6000	6000

\*Dados da Embrapa Arroz e Feijão. Fonte de N variável - Ureia, Sulfato de Amônio e Nitrato de Amônio, com predomínio do uso de Ureia. Fonte de P variável - Super Fosfato Simples e Super Fosfato Triplo. Fonte de K - exclusivamente Cloreto de Potássio.



O manejo do solo e adubação no período destinado ao cultivo é realizado da seguinte forma: o cultivo da soja é feito em sistema de plantio direto, após a dessecação da pastagem com idade de 3,5 anos, quando recebe adubação de 495 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 02-20-20 no período de plantio. Em seguida, também sob plantio direto, é cultivado o feijão no inverno, com a adição de 105 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. No ano seguinte para estabelecimento da cultura do arroz, é feito o preparo do solo com uma gradagem superficial do solo e realizada a adubação com 300 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 04-30-16 mais micronutrientes no plantio e 208 kg ha<sup>-1</sup> de ureia na adubação de cobertura. Sendo neste mesmo ano cultivado novamente a cultura do feijão irrigado sob plantio direto no cultivo de inverno. Antes do restabelecimento da pastagem é cultivado o milho consorciado com o capim Marandú (*Brachiaria brizantha* Staf. cv. Marandú).

Pode-se observar nas Tabelas 7 e 8 que em função do uso do solo (Tabela 4) as áreas 1 e 2 receberam menor quantidade de adubos, seguidas pelas áreas 3 e 4, que receberam uma quantidade intermediária, e pelas áreas 5 e 6 onde foram adicionadas maiores quantidades.

Nos 15 anos de SILP o sistema de plantio e preparo do solo para implantação das lavouras foi quase que em totalidade o de plantio direto, no entanto, nos anos de 1995, 1997, 2003 e 2007, algumas áreas foram cultivadas em sistema de preparo convencional do solo (Tabela 9). As informações apresentadas na Tabela 9 mostram que nos últimos 15 anos, nas áreas 1 e 2 o preparo convencional do solo foi realizado em menor intensidade em comparação às áreas 3, 4, 5 e 6. Da mesma forma, quando se contabiliza o número de cultivos de cada área, as áreas 1 e 2 foram preparadas convencionalmente quase que em 50% menos que as demais (Tabela 9).

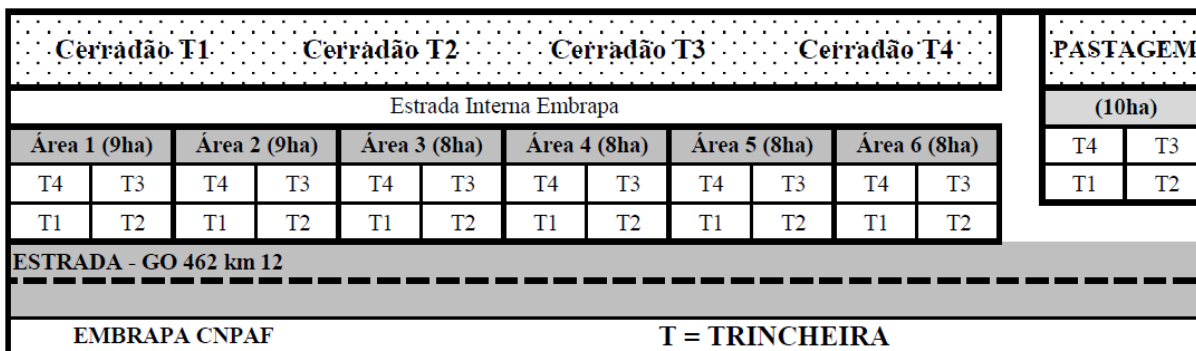
**Tabela 9.** Preparo do solo do SILP ao longo dos 15 anos, nas estações de inverno e verão.

Ano	Estação	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 6
1995	Inverno	-	-	Conv.	Conv.	-	-
1995/1996	Verão	-	-	Direto	Direto	Direto	Direto
1996	Inverno	-	-	-	-	-	-
1996/1997	Verão	-	-	Direto	Direto	Direto	Direto
1997	Inverno	Conv.	-	-	-	-	-
1997/1998	Verão	-	-	Direto	Direto	Direto	Direto
1998	Inverno	-	-	-	-	Direto	Direto
1998/1999	Verão	Direto	Direto	Direto	Direto	Direto	Direto
1999	Inverno	-	-	-	-	-	-
1999/2000	Verão	-	-	Direto	Direto	Direto	Direto
2000	Inverno	-	-	-	-	-	-
2000/2001	Verão	Direto	Direto	Direto	Direto	Direto	Direto
2001	Inverno	-	-	-	-	Direto	Direto
2001/2002	Verão	Direto	Direto	Direto	Direto	Direto	Direto
2002	Inverno	-	-	Direto	Direto	-	-
2002/2003	Verão	Direto	Direto	Direto	Direto	Direto	Direto
2003	Inverno	-	-	-	-	Direto	Direto
2003/2004	Verão	-	-	Conv.	Conv.	Direto	Direto
2004	Inverno	-	-	-	-	-	-
2004/2005	Verão	-	-	Direto	Direto	-	-
2005	Inverno	-	-	-	-	-	-
2005/2006	Verão	-	-	-	-	-	-
2006	Inverno	-	-	-	-	-	-
2006/2007	Verão	Direto	Direto	-	-	-	-
2007	Inverno	Direto	Direto	-	-	-	-
2007/2008	Verão	Direto	Direto	-	-	Conv.	Conv.
2008	Inverno	Direto	-	-	-	Direto	Direto
2008/2009	Verão	-	-	Direto	-	Direto	-
2009	Inverno	-	-	Direto	-	-	-
2009/2010	Verão	-	-	Direto	Direto	Direto	-
<b>Preparo do Solo</b>		<b>Área 1</b>	<b>Área 2</b>	<b>Área 3</b>	<b>Área 4</b>	<b>Área 5</b>	<b>Área 6</b>
Convencional		1	0	3	3	1	1
Direto		8	7	13	11	15	13
<b>Total**</b>		<b>9</b>	<b>7</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>16</b>	<b>14</b>

\*Dados Fornecidos pela Embrapa Arroz e Feijão. Conv. = Preparo convencional do solo equivale a uma aração e duas gradagens. Direto = Plantio direto, equivale apenas à abertura de sulco de plantio para sementes e adubos na ocasião do plantio. \*\*Número de vezes que o solo foi ocupado por culturas anuais no SILP em 15 anos.

### 3.3. Análises Realizadas

Para o presente estudo, as parcelas experimentais, áreas 1, 2, 3, 4, 5, Cerradão e Pastagem (Figura 2), foram divididas em quatro quadrantes e assumiu-se cada um como uma repetição (Figura 3) totalizando quatro repetições por área.



**Figura 3.** Esquema da disposição das trincheiras feitas em cada quadrante (repetições) na área experimental.

#### 3.3.1. Densidade do solo

Com o auxílio de uma retro-escavadeira foi aberta uma trincheira de 1,50 m de profundidade, 0,50 m de largura e 1,50 m de comprimento por repetição, totalizando 32 trincheiras. Essas tiveram suas paredes internas aplainadas com o auxílio de “pá reta” e “enxadão”.

Foram utilizados para coleta anéis de metal com volume interno de 99,8 cm<sup>3</sup> (anéis de Kopeck). As amostras foram coletadas nas três paredes internas das trincheiras nas profundidades de: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-80, 80-100 e 100-110 cm. O anel foi cuidadosamente inserido, com o mínimo de compactação, em cada profundidade. Após a retirada do excesso de solo externo aos anéis, o conteúdo do anel foi transferido para um saco plástico. No laboratório, as amostras foram colocadas para secar em estufa a 105 °C, por 48 horas, para determinação do peso seco da amostra. Assim, através da razão entre a massa de solo seco e o volume do anel, calculou-se a densidade do solo (DS) de cada profundidade. Em cada área experimental foram abertas quatro trincheiras sendo o valor de cada repetição a média da densidade das amostras coletadas nas três paredes.

#### 3.3.2. Análise do teor de argila

A amostragem de solo para análise do teor de argila foi realizada com auxílio de um trado holandês. Em cada repetição foram coletadas amostras compostas por 12 sub-amostras coletadas em “zig-zag” e nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. Essas amostras de terra foram secas ao ar e destorroadas para fins de uma maior padronização nas análises. A metodologia utilizada para a determinação da fração de argila foi a da pipeta, baseada na modificação da lei de Stokes, conforme descrito por Embrapa (1997).

#### 3.3.3. Fertilidade do solo

A amostragem para análise textural foi realizada com auxílio de um trado holandês. Em cada repetição foram coletadas amostras compostas por 12 sub-amostras coletadas em “zig-zag” e nas profundidades camadas de 0-20, 20-40, 40-100 cm. As amostras de terra foram secas ao ar, destorroadas e passaram por peneiras de 2 mm. As

seguintes análises foram realizadas: pH em H<sub>2</sub>O, Al, H+Al, Ca e Mg trocáveis usando como extrator KCl, P e K pelo método Mehlich<sup>-1</sup> (EMBRAPA, 1997).

### 3.3.4. Abundância natural de <sup>13</sup>C

A análise da abundância natural de <sup>13</sup>C foi feita de forma simultânea à de carbono e nitrogênio total, utilizando um espectrômetro de massa de razão isotópica de fluxo viscoso (espectrômetro de massa Finnigan Delta Plus – Finnigan MAT, Bremen, Alemanha), que utilizou o CO<sub>2</sub> gerado das amostras via oxidação seca pelo auto-analisador de carbono e nitrogênio acoplado, (Modelo Elementar Combustion System CHNS-O, Costech Analytical Technologies Inc., Valencia, USA), no laboratório John M. Day da Embrapa Agrobiologia.

### 3.3.5. Carbono e nitrogênio total do solo

A amostragem para análise de carbono e nitrogênio total do solo foi feita com auxílio de um trado holandês. Em cada repetição foram coletadas amostras compostas por 12 sub-amostras coletadas em “zig-zag” e nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm.

As amostras de terra fina seca ao ar (TFSA) foram novamente moídas em moinho de rolagem, em recipientes de porcelana, até a pulverização (≈100 mesh) (SMITH & MYUNG, 1990).

O teor do carbono e nitrogênio total das amostras de terra foi determinado pelo método de combustão a seco. Em função do teor de carbono, utilizou-se aproximadamente 20 mg (camadas 0-20cm), 40 mg (camadas 20-40 cm) e 80 mg (camadas de 40-100 cm) da amostra de solo, acondicionados em cápsulas de estanho, para análise em um auto-analisador de carbono e nitrogênio (Modelo Elementar Combustion System CHNS-O, Costech Analytical Technologies Inc., Valencia, USA), no laboratório John M. Day da Embrapa Agrobiologia. Amostra e cápsula reagiram com o oxigênio a uma temperatura de 1700 a 1800 °C; a amostra foi decomposta em N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e SO<sub>4</sub>. Em seguida, os gases passam por uma coluna de separação de cromatografia gasosa. À medida que passam pela coluna, são separados e detectados através de sinais proporcionais à concentração do elemento na amostra pelo TCD (Thermal Conductivity Detector). Um software acoplado ao sistema compara o pico de leitura do elemento conhecido com o do material padrão utilizado na calibração do aparelho. Um relatório é gerado para cada elemento na base de peso da amostra. O aparelho foi calibrado a cada 5 amostras com amostras-padrão do laboratório.

### 3.3.6. Cálculo dos estoques de carbono e nitrogênio do solo

Os estoques de C e N nas camadas de 0-40 e 0-100 cm foram calculados utilizando a mesma massa de solo do perfil nos diferentes sistemas de manejo. Este ajuste da massa de solo feito utilizando-se os resultados de densidade do solo observado em cada área foi realizado seguindo os procedimentos estabelecidos por ELLERT & BETTANY (1995), que visa fazer a comparação com o maior rigor científico. Esta correção foi expressa matematicamente por SISTI, et al. (2004) pela equação a seguir:

$$C_s = \sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti} + \left[ M_{Tn} - \left( \sum_{i=1}^n M_{Ti} - \sum_{i=1}^n M_{Si} \right) \right] C_{Tn}$$

Onde: C<sub>s</sub> é o estoque de carbono total (Mg C ha<sup>-1</sup>) no solo em uma profundidade onde a massa de solo seja a mesma daquela observada no perfil de solo utilizada como

referência;  $\sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti}$  é a soma do conteúdo de carbono total (Mg ha<sup>-1</sup>) na camada 1

(superfície) à camada 'n - 1' (penúltima) no perfil do solo sob o tratamento;  $\sum_{i=1}^n Ms_i$  é a soma da massa de solo ( $Mg\ ha^{-1}$ ) na camada 1 (superfície) a 'n' (última camada) no

perfil do solo referência;  $\sum_{i=1}^n MT_i$  é a soma da massa de solo ( $Mg\ ha^{-1}$ ) na camada 1 (superfície) a 'n' (última camada) no perfil do tratamento,  $MT_n$  e  $CT_n$  são respectivamente a massa de solo ( $Mg\ C\ Mg\ solo^{-1}$ ) e concentração de carbono na última camada do perfil do solo sob tratamento.

A mesma expressão foi utilizada para o cálculo do estoque de N, onde os teores de C serão substituídos pelos de N.

### 3.4. Delineamento Experimental e Análises Estatísticas

Como a maioria das áreas no Brasil onde foram implantados sistemas de cultivo a longo prazo, nessa área não existe um delineamento experimental clássico, uma vez que na implantação do SILP não se tinha a intenção de montar um experimento e sim uma fazenda modelo. As oito áreas amostradas foram divididas em quatro quadrantes (Figura 3) que foram considerados repetições conforme descrito no item 3.3.

Foi utilizado o delineamento estatístico inteiramente casualizado por ser o que agrega menor erro à análise.

A homogeneidade (teste de Cochran & Brattlet) e a normalidade (Lilliefors) dos dados foram avaliadas através do programa estatístico SAEG (Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes – UFV).

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa estatístico SISVAR (Versão 5.2 – Build 73, 1999 – 2007, UFLA) para análise de variância e comparação das médias sobre os diferentes parâmetros avaliados. Os dados foram avaliados pela análise de variância paramétrica univariada, pelo teste F, cujos efeitos significativos foram estudados pelo teste t de comparação de médias com correção de Bonferroni a 5% de probabilidade.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Validação da Área Para o Estudo de Mudança nos Estoques de Carbono e Nitrogênio do Solo

Nos estudos de mudanças dos estoques de carbono e nitrogênio no solo como efeito do sistema de integração lavoura pecuária (SILP), é importante que se tenha uma área homogênea em sua origem que permita avaliar o efeito isolado dos diferentes sistemas de manejo. Assim, foi realizado o estudo prévio da densidade, textura e abundância natural de  $^{13}\text{C}$  do perfil do solo da área a fim de comprovar se as parcelas experimentais seriam comparáveis entre si. Tais parâmetros podem expressar fatores pedogenéticos que estão diretamente ligados à dinâmica do carbono. Embora muitos autores não tenham se atentado a esse fato, trabalhos clássicos como SISTI et al., (2004) e BODDEY et al., (2004) foram criteriosos na escolha das áreas tendo como base esses parâmetros.

#### 4.1.1. Densidade do solo

Os valores de densidade do solo neste trabalho têm dupla função, sendo a primeira para validar a área em estudo mostrando a similaridade dos solos, e a segunda para se fazer a correção da massa usada no cálculo dos estoques de carbono e nitrogênio do perfil do solo (ELLERT & BETTANY, 1995; SISTI et al., 2004). A primeira está relacionada, no que tange à densidade do solo, a similaridade genética dos solos em estudo, uma vez que em profundidade, onde o efeito do manejo não é significativo, espera-se uma densidade similar entre as áreas.

Na Tabela 10, observa-se que nos primeiros 30 cm de profundidade, os sistemas de manejo não diferiram significativamente entre si, estando mais compactados que a área sob cerradão. Essa diferença deve-se ao preparo do solo e ao tráfego de máquinas e animais que modificam superficialmente a porosidade do solo, que fica mais denso em função da redução de macro e microporosidade (ELTZ et al., 1989).

Nas profundidades entre 30 e 60 cm nota-se diferença estatística entre algumas áreas de manejo. A área 4 apresenta maior compactação quando comparada às demais. Essa leve compactação em sub-superfície chamada de “pé de grade” ocorre por causa do movimento descendente da argila dispersa nas camadas superficiais em função da pulverização dos agregados ocasionada pela movimentação e uso do solo. Esse fenômeno é favorecido pela frente de molhamento do solo que movimenta-se para as camadas sub-superficiais, levando consigo a argila, que é depositada na superfície de um agregado ou em um poro, nesse último caso a argila depositada reduz a porosidade, favorecendo a compactação do solo (HILLEL, 1998). No entanto, essa compactação pouco influenciou numericamente a densidade das camadas.

**Tabela 10.** Densidade do solo nos diferentes intervalos de profundidade das seis áreas sob Sistema de Integração Lavoura Pecuária (SILP), Pastagem e Cerradão.

Profundidade	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 6	Pastagem 20 anos	Cerradão	cv
cm	Mg m <sup>-3</sup>								%
0 - 5	1,28 b	1,28 b	1,25 b	1,33 b	1,32 b	1,31 b	1,28 b	0,86 a	5,90
5 - 10	1,25 b	1,31 b	1,31 b	1,34 b	1,35 b	1,30 b	1,29 b	0,99 a	3,80
10 - 20	1,25 b	1,29 b	1,29 b	1,36 b	1,34 b	1,35 b	1,30 b	1,05 a	4,35
20 - 30	1,23 b	1,29 b	1,31 b	1,36 b	1,36 b	1,33 b	1,23 b	1,06 a	4,86
30 - 40	1,19 abc	1,22 bc	1,26 bc	1,30 c	1,26 bc	1,24 bc	1,16 ab	1,06 a	4,45
40 - 50	1,13 ab	1,13 ab	1,21 ab	1,23 b	1,18 ab	1,18 ab	1,11 ab	1,05 a	5,58
50 - 60	1,08 abc	1,12 abc	1,18 bc	1,19 c	1,13 abc	1,15 abc	1,07 ab	1,06 a	3,81
60 - 70	1,07 a	1,09 a	1,10 a	1,14 a	1,10 a	1,12 a	1,06 a	1,06 a	4,48
70 - 80	1,04 a	1,07 a	1,07 a	1,11 a	1,07 a	1,12 a	1,07 a	1,02 a	4,06
80 - 90	1,03 a	1,07 a	1,05 a	1,09 a	1,06 a	1,06 a	1,06 a	1,01 a	3,42
90 - 100	1,02 a	1,08 a	1,04 a	1,09 a	1,06 a	1,05 a	1,04 a	1,03 a	4,49
100 - 110	1,03 a	1,03 a	1,05 a	1,06 a	1,05 a	1,02 a	1,05 a	1,04 a	3,99
110 - 120	1,04 a	1,04 a	1,06 a	1,07 a	1,07 a	1,01 a	1,05 a	1,02 a	4,96

\*Mesmas letras na mesma linha não diferem estatisticamente pelo teste t com correção de Bonferroni a 5% de probabilidade.

Nota-se, nas áreas sobre a influência do manejo, um padrão similar de densidade do solo em relação aos intervalos de profundidade, onde a porosidade do solo aumenta em função da profundidade até que sejam observados valores de densidade muito próximos aos observados na área sob Cerradão, que foi tomada como referência da densidade natural desse solo.

Assim, observa-se que as diferenças das densidades das diferentes áreas estão variando apenas nos intervalos de profundidade onde o manejo do solo interferiu, estando as camadas abaixo de 60 cm conservando a densidade natural dessas áreas, que é estatisticamente igual à da área de Cerradão.

#### 4.1.2. Teor de argila

A textura do solo é um atributo de fundamental importância nos estudos de estoques de carbono e nitrogênio uma vez que a interação entre a fração argila e a matéria orgânica do solo é muito elevada (CHRISTENSEN, 1992) podendo a diferença entre os estoques ser apenas efeito da variação nos teores de argila (FELLER & BEARE, 1997).

Observa-se na Tabela 11 que nos intervalos de profundidades de 0 a 30 cm os teores de argila do solo são estatisticamente iguais e que as diferenças encontradas no intervalo de 30 a 40 cm reforçam a idéia supracitada de que em função do manejo aplicado a argila dispersa foi translocada das camadas superficiais e depositada (HILLEL, 1998). No entanto, mesmo nesse intervalo onde a diferença entre a área 2 e a pastagem é significativa, as mesmas não diferem da área de cerradão que foi tomada como referência.

**Tabela 11.** Teor de argila nos diferentes intervalos de profundidade das seis áreas sob Sistema de Integração Lavoura Pecuária (SILP), Pastagem e Cerradão.

Profundidade	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 6	Pastagem 20 anos	Cerradão	Cv
cm									%
0-5	549 a	641 a	631 a	573 a	529 a	588 a	535 a	641 a	8,85
5 - 10	594 a	687 a	676 a	648 a	600 a	628 a	559 a	651 a	10,09
10 - 20	649 a	682 a	701 a	663 a	625 a	648 a	589 a	691 a	9,04
20 - 30	634 a	702 a	631 a	643 a	614 a	644 a	599 a	691 a	10,89
30 - 40	654 ab	772 a	681 ab	658 ab	654 ab	664 ab	604 b	696 ab	7,68
40 - 60	604 a	677 a	676 a	636 a	624 a	654 a	579 a	681 a	10,85
60 - 80	563 a	732 a	626 a	629 a	604 a	639 a	589 a	661 a	14,03
80 - 100	618 a	652 a	716 a	594 a	609 a	649 a	599 a	686 a	13,57

\*Mesmas letras na mesma linha não diferem estatisticamente pelo teste t com correção de Bonferroni a 5% de probabilidade.

Cabe ressaltar que como observado no coeficiente de variação (Tabela 11), a argila é um atributo que possui notável variabilidade espacial (VIEIRA, 1997; CAMARGO et al., 2008) e mesmo quando se tem um mesmo solo, se observam algumas diferenças em seus teores que não estão relacionadas a fatores pedogenéticos. Assim tem-se áreas que são comparáveis, uma vez que os teores de argila não são tendenciosamente maiores ou menores em alguma área possibilitando a comparação entre as mesmas.

#### 4.1.3. Distribuição da abundância natural de $^{13}\text{C}$ no perfil do solo e origem do carbono

O uso de técnicas isotópicas de  $^{13}\text{C}$  para estudos de dinâmica da matéria orgânica do solo utiliza o princípio da diferença na discriminação isotópica que ocorre na assimilação de carbono de plantas de ciclo fotossintético  $\text{C}_3$  ( $\approx -28\text{‰}$   $\delta_{\text{PDB}}^{13}\text{C}$ ) e  $\text{C}_4$  ( $\approx -12\text{‰}$   $\delta_{\text{PDB}}^{13}\text{C}$ ) (SMITH & EPSTEIN, 1971). Assim, o carbono da matéria orgânica do solo remete, de forma proporcional ao tempo e à quantidade de material depositado, e ao tipo de vegetação que coloniza ou que colonizou o solo (CERRI et al., 1985; PESSENDA et al., 2001; GOUVEIA et al., 2002).

Pode-se observar na Figura 4 que, em superfície, a marcação isotópica das áreas está diretamente ligada ao material vegetal depositado sobre o mesmo. Na área de cerradão, onde tem-se uma intensa deposição de resíduos vegetais de plantas  $\text{C}_3$  a abundância natural de  $^{13}\text{C}$  é próxima a  $-26\text{‰}$  e na área sob pastagem e SILP tem-se valores entre  $-17$  e  $-20\text{‰}$  que representam uma mistura de carbono de origem  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ .

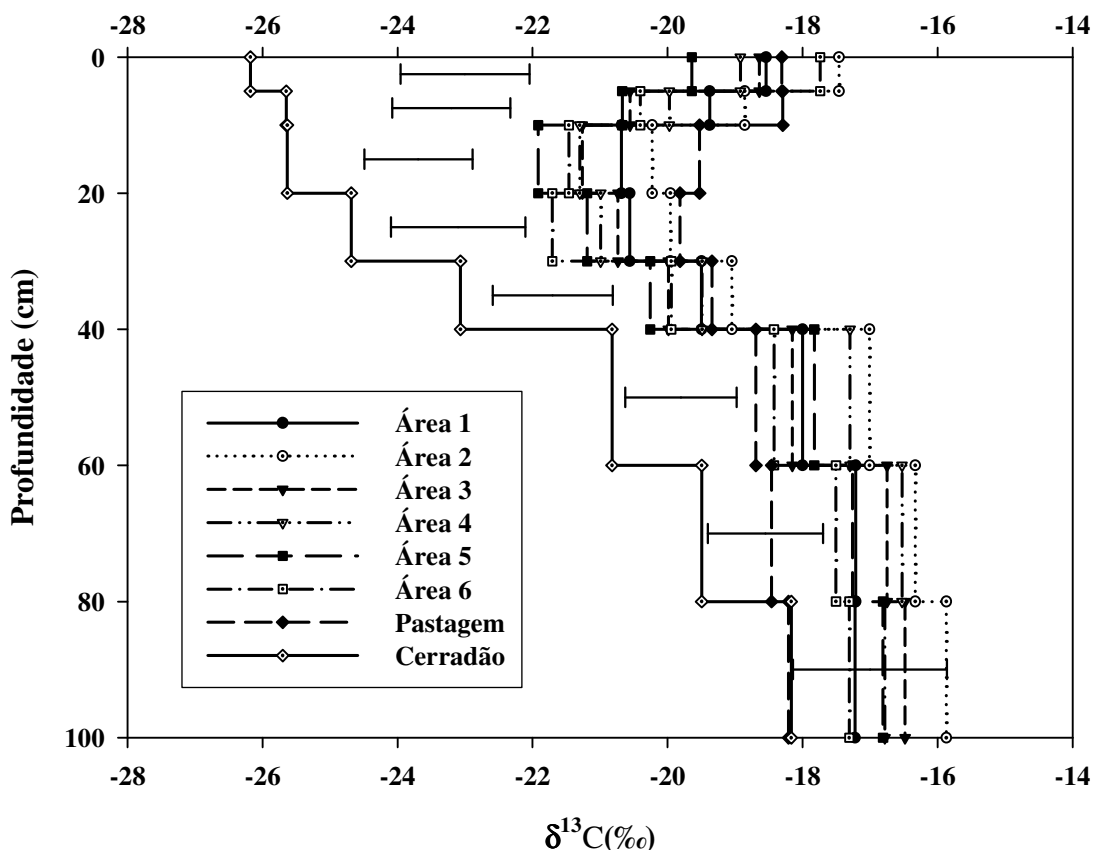
Nas áreas sobre SILP esse efeito é esperado, uma vez que as rotações de culturas contemplaram plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  (Tabela 6). Já as áreas de Cerradão e pastagem não representam em superfície a marcação isotópica pura de plantas  $\text{C}_3$  ( $\approx -28\text{‰}$   $\delta_{\text{PDB}}^{13}\text{C}$ ) e  $\text{C}_4$  ( $\approx -12\text{‰}$   $\delta_{\text{PDB}}^{13}\text{C}$ ), respectivamente.

No primeiro caso, embora a vegetação seja predominantemente  $\text{C}_3$ , densa, com as copas das árvores quase se tocando, é notável a presença de gramíneas no estrato inferior, fato já observado em outras áreas de Cerradão (SALGADO-LABOUREAU, 2000; MENDONÇA et al., 2010). De forma paralela, no processo de decomposição do material orgânico ocorre maior liberação ou perda de compostos mais ricos em  $^{12}\text{C}$ , ficando a matéria orgânica do solo mais enriquecida em  $^{13}\text{C}$  do que matéria orgânica recém incorporada (O'BRIEN & STOUT, 1978; VITORELLO et al., 1989; MARTIN et al., 1990).



Já na área de pastagem onde é comum se encontrar valores de  $\delta^{13}\text{C}$  entre -12 e -14‰ na superfície, foi observado uma marcação isotópica próxima de -19‰ indicando que o carbono tem diferentes origens ( $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ ). Como descrito anteriormente, esses valores estão relacionados a qualidade e quantidade de material vegetal depositado no solo (SISTI et al., 2004). Baseado nos índices de produtividade (Tabela 3) e nos dados de fertilidade do solo (Tabela 12) pode-se inferir que se tratava de um sistema com baixa produção de biomassa por ser uma pastagem mal manejada. Assim, estava influenciando na qualidade do resíduo depositado ( $\text{C}_4$ ), mas não em quantidade suficiente para alterar significativamente a marcação isotópica dessa camada do solo.

Partindo do princípio de que toda área experimental apresentava a mesma cobertura vegetal de Cerradão (Figura 1), e que na área de pastagem não foram cultivadas plantas de ciclo  $\text{C}_3$ , pode-se afirmar que a pastagem pouco influenciou nas camadas mais profundas do solo, uma vez que, mesmo após mais de 20 anos de cultivo, essa apresenta marcação isotópica em profundidade abaixo de 60 cm, típica do carbono inicial, oriundo da vegetação do Cerradão. Essa maior preservação do carbono pode estar ligada a uma menor perturbação do solo, hipótese que é reforçada uma vez que nessa área pouco se renovou a pastagem e não existem relatos de revolvimento do solo, o que favorece a conservação da MOS através da preservação dos agregados (ZOTARELLI et al., 2007; BARRETO et al., 2009).



**Figura 4.** Abundância natural de  $^{13}\text{C}$  nos diferentes intervalos de profundidade das seis áreas sob Sistema de Integração Lavoura Pecuária (SILP), Pastagem e Cerradão. \*Barras horizontais representam a diferença mínima significativa (DMS) pelo teste t com correção de Bonferroni a 5% de probabilidade.

Na profundidade abaixo de 40 cm, observa-se que o padrão da marcação isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) das áreas tende a se aproximar, mostrando um ponto em comum no  $\delta^{13}\text{C}$  nas áreas no intervalo de profundidade de 80-100 cm. Esses valores indicam que há similaridade entre as áreas, o que pode ser concluído através do histórico paleobotânico, que viabiliza a comparação entre as mesmas.

Em florestas primárias como Amazônia ou a Mata Atlântica, onde a vegetação é essencialmente composta por plantas  $\text{C}_3$ , perfis típicos de  $\delta^{13}\text{C}$  nessas regiões apresentam valores de aproximadamente -27 a -28‰ em superfície, sendo observado aumento de aproximadamente 2‰ a um metro de profundidade (MORAES et al., 1996; TARRÉ et al., 2001; PINHEIRO et al., 2010). Outros estudos em solos do cerrado (ROSCOE et al., 2000; BRÁS et al., 2005; JANTALIA et al., 2007; MENDONÇA et al., 2010), o último em fitofisionomia de cerradão, mostram distribuição de  $\delta^{13}\text{C}$  em profundidade semelhante à encontrada nesse trabalho, evidenciando a diminuição de uma vegetação  $\text{C}_4$  paralela ao aumento de  $\text{C}_3$  nos últimos séculos.

Estudos no Cerrado do estado do Amazonas e São Paulo, usando a técnica de datação com o radioisótopo  $^{14}\text{C}$ , indicam que a matéria orgânica do solo na profundidade de um metro tem aproximadamente de 3000 a 4000 anos antes do presente (AP) (PESSENDA et al., 1998; GOUVEIA et al., 2002), assim, o perfil de  $\delta^{13}\text{C}$  na área deste estudo mostra que, em uma escala de tempo geológico, houve um aumento da concentração de uma vegetação  $\text{C}_3$  sob uma área onde predominava uma paleovegetação  $\text{C}_4$ . Alguns autores afirmam que essa mudança foi decorrente de mudanças paleoclimáticas ocorridas em meados do Holoceno (SALGADO-LABOUREAU, 2000).

Em função dos parâmetros acima analisados e discutidos (densidade, textura e abundância natural de  $^{13}\text{C}$ ), observa-se que os solos da área desse experimento têm a homogeneidade necessária para que seus estoques de carbono e nitrogênio sejam comparados em função do manejo empregado.

## 4.2. Fertilidade do Solo

Entre os benefícios que o SILP proporciona ao sistema produtivo, a manutenção da fertilidade do solo pode ser considerada um princípio fundamental na sustentabilidade do sistema (VILELA et al., 2011). Nesse entendimento, o SILP Santa Fé tem como princípio a implantação de pastagens alternada com o cultivo de lavouras anuais. Isto possibilita que as pastagens aproveitem a adubação residual aplicada nas lavouras resultando em elevados níveis de produtividade (MACEDO, 2009).

Na Tabela 12 observam-se valores de pH, alumínio, cálcio, magnésio, fósforo e potássio em cada área.

Observa-se que os teores de alumínio está determinando os valores de pH nas áreas. No cerradão onde são observados os menores níveis de pH, os teores de alumínio também são os mais elevados, em torno de 1,07 e 0,31  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ . Nas áreas 4 e 5, na camada de 20-40 cm, os valores de alumínio encontram-se entre 0,27 e 0,31, respectivamente, estando próximos ao limite (0,3  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) onde a fitotoxicidade por alumínio começa a afetar significativamente a produtividade (SOUZA et al., 2007). Nas outras áreas, nas diferentes profundidades, os teores de alumínio se encontram abaixo desse limite com valores de 0,01 a 0,21  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ , o que não teria efeitos significativos na produtividade.

**Tabela 12.** Fertilidade do solo nos diferentes intervalos de profundidade das seis áreas sob Sistema de Integração Lavoura Pecuária (SILP), Pastagem e Cerradão.

Profundidade (cm)	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 6	Pastagem	Cerradão	
<b>pH</b> (água)	<b>0-20</b>	5,68 a	6,17 a	5,55 a	5,41 a	5,74 a	5,86 a	5,52 a	4,51 b
	<b>20-40</b>	5,43 ab	6,31 a	5,71 ab	4,98 b	4,96 b	5,62 ab	5,26 b	4,78 b
	<b>40-100</b>	5,91 ab	6,41 a	5,78 ab	5,95 ab	5,51 bc	5,85 ab	5,41bc	4,92 c
<b>Al</b> (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	<b>0-20</b>	0,06 b	0,01 b	0,07 b	0,14 b	0,16 b	0,03 b	0,21b	1,07 a
	<b>20-40</b>	0,11 ab	0,01 b	0,07 ab	0,27 ab	0,31 a	0,1 ab	0,15 ab	0,31 a
	<b>40-100</b>	0,01 a	0,01 a	0,01 a	0,01 a	0,01 a	0,01 a	0,01 a	0,03 a
<b>H+Al</b> (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	<b>0-20</b>	6,45 abc	4,41 c	7,09 ab	6,51 abc	5,11 bc	4,44 c	6,1 abc	8,46 a
	<b>20-40</b>	5,62 a	3,31 b	4,68 ab	5,15 ab	4,83 ab	4,25 ab	4,25 ab	4,51 ab
	<b>40-100</b>	2,94 b	1,78 b	3,35 ab	2,14 b	2,26 b	2,31 b	3,05 ab	4,57 a
<b>Ca</b> (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	<b>0-20</b>	1,74 bc	3,03 a	2,47 ab	1,51 bc	2,27 ab	2,27 ab	0,93 cd	0,16 d
	<b>20-40</b>	0,76 bcd	1,96 a	1,67 ab	0,46 cd	0,66 cd	1,12 abc	0,26 cd	0,04 d
	<b>40-100</b>	0,41 cd	0,85 a	0,82 ab	0,51 bc	0,47 c	0,58 abc	0,11 de	0,02 e
<b>Mg</b> (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	<b>0-20</b>	0,73 ab	1,03 a	0,97 ab	0,75 ab	1,04 a	0,99 a	0,5 bc	0,16 c
	<b>20-40</b>	0,31 bcd	0,58 a	0,48 ab	0,23 bcd	0,35 abc	0,46 abc	0,18 cd	0,04 d
	<b>40-100</b>	0,18 ab	0,28 a	0,29 a	0,23 a	0,3 a	0,28 a	0,07 bc	0,02 c
<b>P</b> (mg.dm <sup>-3</sup> )	<b>0-20</b>	5,92 c	10,61 b	15,51 b	11,76 b	34,12 a	14,79 b	1,17 c	1,23 c
	<b>20-40</b>	1,46 abc	2,02 abc	2,81 ab	1,33 abc	2,16 abc	3,11 a	0,35 c	0,53 bc
	<b>40-100</b>	0,31 bc	0,41 b	0,28 bc	0,34 bc	0,66 a	0,68 a	0,13 c	0,28 bc
<b>K</b> (mg.dm <sup>-3</sup> )	<b>0-20</b>	62,25 bc	107,58ab	81,75 bc	106,66 ab	163,08 a	77,41 bc	54,91 bc	38,16 c
	<b>20-40</b>	26,37bcd	61,87 ab	52,62 abc	45 abcd	71,75 a	30,62 bcd	18,01 cd	14,25 d
	<b>40-100</b>	18,08 b	38,75 ab	27,21 ab	30,96 ab	73,79 a	18,62 b	5,83 b	5,49 b

\*Mesmas letras na mesma linha não diferem estatisticamente pelo teste t com correção de Bonferroni a 5% de probabilidade.

Os teores de cálcio e magnésio nas seis áreas sobre SILP estão dentro de uma faixa estabelecida para os mesmos como adequada (SOUZA et al., 2007). Destaca-se entre as demais a área 2 com os maiores teores de cálcio e magnésio nos intervalos de profundidade. Dos sistemas de manejo, a pastagem é a que apresentou os menores teores, estando abaixo dos limites estabelecidos (SOUZA et al., 2007) fato que se acentua em profundidade. Já o Cerradão por estar sob um equilíbrio dinâmico e não ser adubado, entre todas, apresentou os menores teores.

Os teores de fósforo e potássio refletem as adubações feitas nas áreas (Tabela 7). Sabe-se que baixos teores de fósforo são indicadores de um início de degradação do solo uma vez que é um elemento considerado dos mais limitantes na região do cerrado (SOUZA et al., 2007). Assim, a área 5, que foi submetida a sucessivos cultivos de culturas anuais (Tabela 7) e na ocasião da amostragem estava com soja, apresenta os maiores teores de fósforo, em torno de 34,12 mg dm<sup>-3</sup>, situação que se repete nas outras áreas com lavouras, áreas 3 e 4 com 15,71 e 11,76 mg dm<sup>-3</sup> cada. Já as áreas de SILP em pastagem encontram-se com menores valores, indicando que essas vêm se beneficiando da adubação residual e reforçando a importância da implantação de culturas anuais na renovação. A área sob pastagem apresentou os valores em torno de 1,17 mg dm<sup>-3</sup> na profundidade de 0-20 cm, diminuindo significativamente em profundidade, indicando

uma baixa exploração da pastagem em profundidade e uma baixa produtividade da forrageira. Já o cerradão apresenta baixos valores variando em torno de 1,53, 0,53 e 0,28 no intervalos de 0-20, 20-40 e 40-100.

Os teores de potássio seguem a tendência dos de fósforo, indicando que as áreas sob cultivo de lavouras têm os teores mais elevados seguidos pelos SILP em pastagem que se beneficiam da adubação residual das lavouras. Dentre as áreas de lavouras, destaca-se a sob cultivo de soja, que recebeu elevadas quantidades de adubos no plantio (Tabela 7); já entre as pastagens, as áreas 1 e 6 estão com os menores teores, o que pode indicar a necessidade da implantação de lavouras. A pastagem novamente apresenta teores abaixo dos observados na área com SILP e, em profundidade, observa-se uma drástica redução. A área de cerrado foi a que apresentou os menores valores.

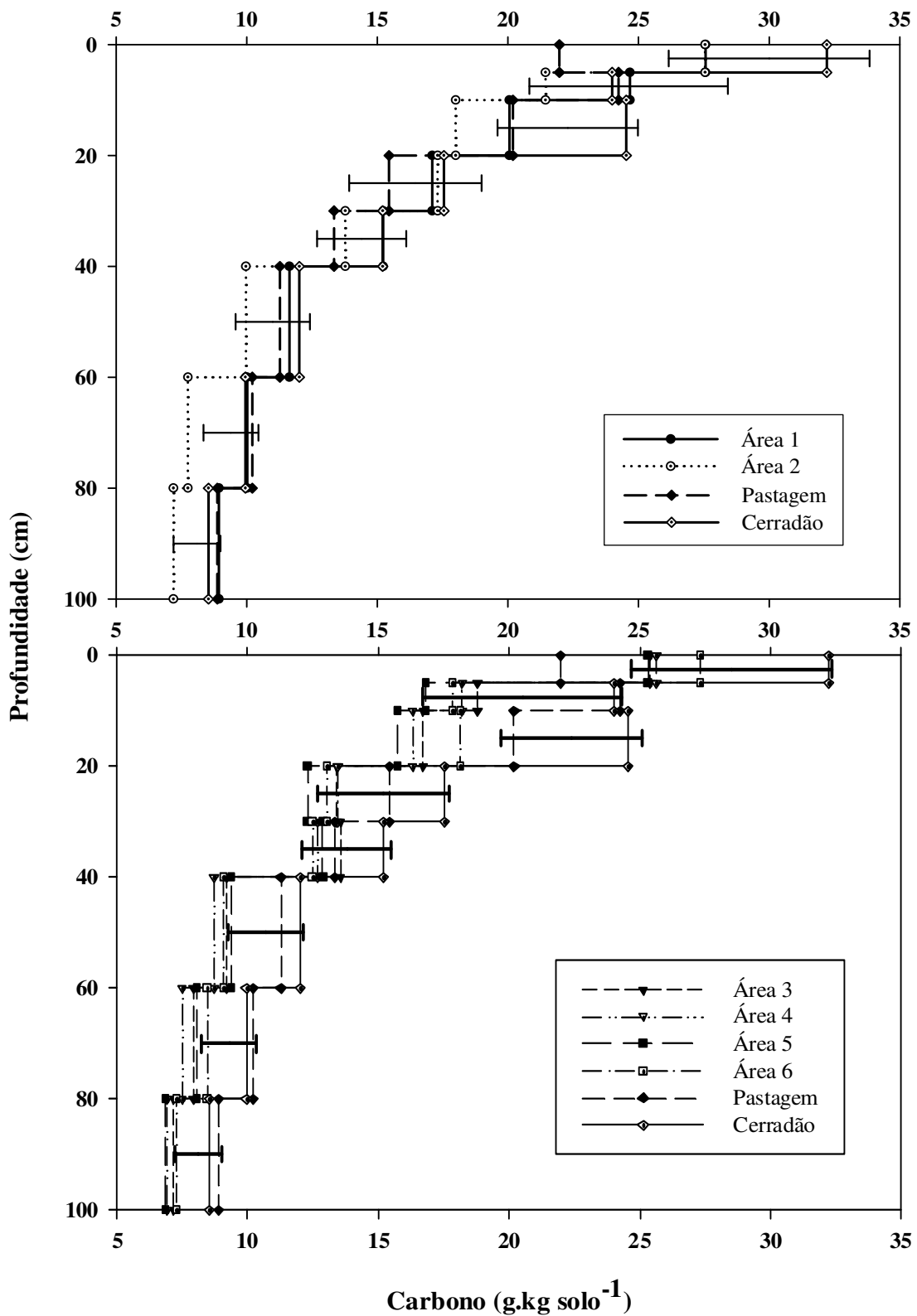
A análise dos dados de fertilidade demonstra que as áreas sob SILP vêm mantendo elevados níveis de fertilidade, o que tem refletido em boas produtividades (Tabela 3). As pastagens sobre SILP têm se beneficiado da adubação residual das lavouras, o que é preconizado pelo sistema Santa Fé. À medida que essas vêm sendo exploradas, seus níveis de fertilidade vêm diminuindo e indicando o novo momento do cultivo com lavouras (VILELA et al., 2011).

Já na área de pastagem em monocultivo, foram observados os menores teores de nutrientes em superfície. No entanto, os teores são ainda menores em profundidade quando comparados aos observados na área com SILP. Essa baixa fertilidade em profundidade pode estar limitando o desenvolvimento radicular da pastagem, assim como a produtividade de biomassa (SÁ, 2011). Essa exploração superficial do solo em função da baixa fertilidade em profundidade reforça os dados de  $\delta^{13}\text{C}$  (Figura 4) encontrados. Foram observados (Figura 4) que os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  da pastagem em profundidade são muito semelhantes aos encontrados no cerradão, indicando que o carbono depositado pelas raízes da pastagem em profundidade pouco alterou a marcação isotópica do C.

### **4.3. Teores de Carbono e Nitrogênio do Solo**

O padrão da distribuição dos teores de carbono encontrado (Figura 5) varia em função da profundidade do perfil do solo. Em superfície, têm-se os teores mais elevados que variam de 22 a 32 g kg solo<sup>-1</sup> e vão diminuindo gradativamente em profundidade até atingirem valores entre 5 e 10 g kg solo<sup>-1</sup> no intervalo de 80-100 cm. Esse padrão foi encontrado por diversos autores que trabalharam com mudanças de estoques de carbono em Latossolos do cerrado (SISTI et al., 2004; JANTÁLIA et al., 2007; LOSS, 2011; SÁ, 2011) sugerindo que os maiores teores de carbono estão ligados às maiores entradas de resíduos vegetais. Assim como observado em outras áreas de cerradão, a superfície do solo por receber material vegetal diretamente, apresenta sempre os maiores teores de carbono (CASTRO & KAUFFMAN, 1998; LOSS, 2011).

A área de cerradão usada como referência de teores de carbono foi a que em superfície apresentou os maiores teores de carbono, em torno de 32 g kg solo<sup>-1</sup>. Esses valores refletem a elevada quantidade de serrapilheira depositada pela densa mata de Cerradão (CASTRO & KAUFFMAN, 1998; GRACIE et al., 2007). Também em função do material depositado, mas de maneira inversa ao cerradão, a área sob pastagem degradada apresenta baixos teores de carbono que dão indícios de baixa produtividade de biomassa resultando em baixa entrada de resíduos orgânicos em superfície.

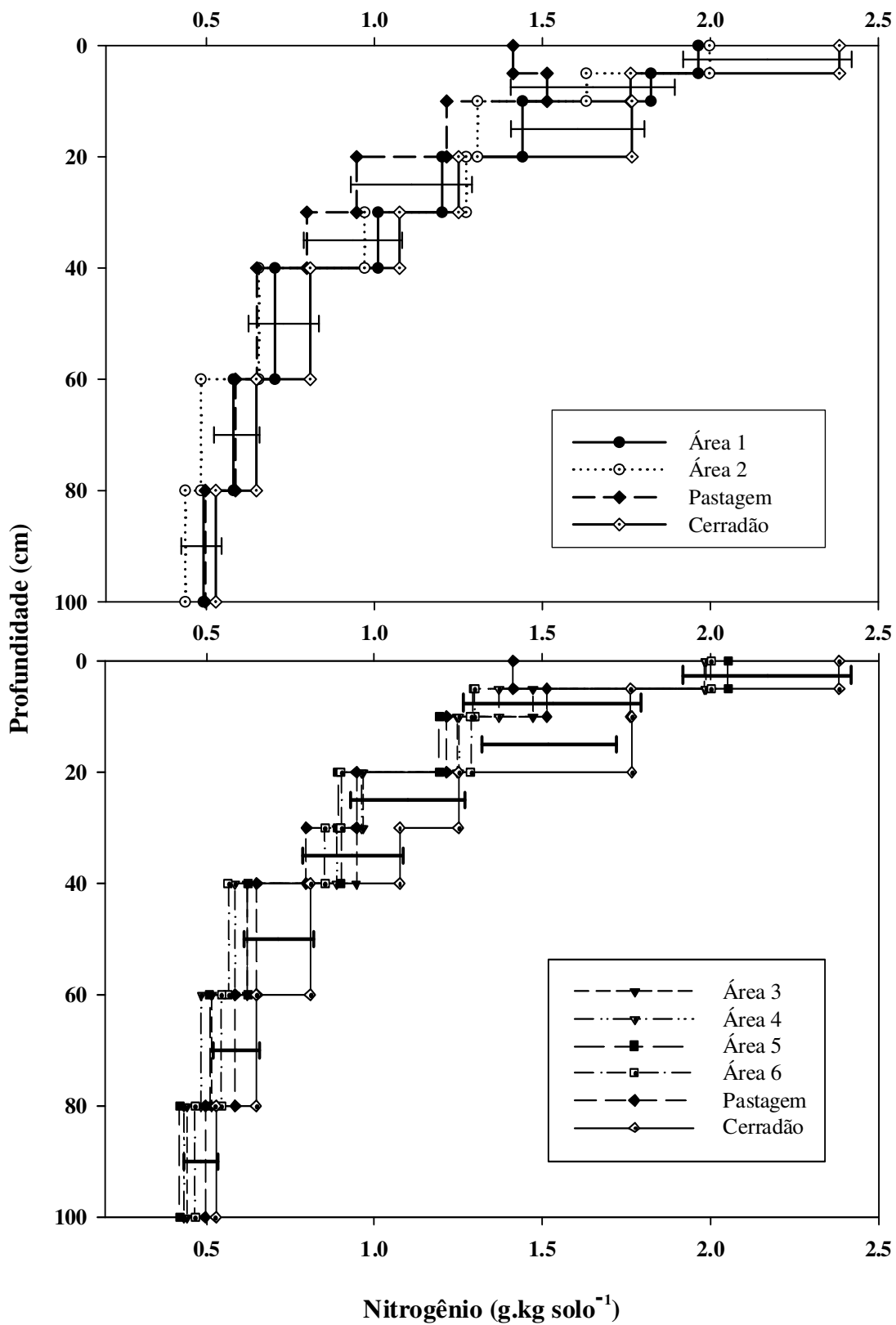


**Figura 5.** Teores de carbono do solo nos diferentes intervalos de profundidade das seis áreas sob Sistema de Integração Lavoura Pecuária (SILP), Pastagem e Cerradão. \*Barras horizontais representam a diferença mínima significativa (DMS) pelo teste t com correção de Bonferroni a 5% de probabilidade.

Nas camadas superficiais das áreas sob SILP, encontram-se teores de carbono entre 23 a 26 g kg solo<sup>-1</sup> no primeiro intervalo de profundidade, seguido de valores entre 10 e 20 g kg solo<sup>-1</sup> no intervalo de 5-40 cm. Observa-se que as maiores diferenças nos teores de carbono se encontram no intervalo de 10-40 cm. Nesse parâmetro, as áreas sob pastagem têm se destacado por terem teores muito próximos da área referência (cerradão). Isso se deve ao volume radicular das pastagens tropicais, as quais podem produzir cerca de 30 Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa contribuindo para elevar os teores de carbono nas camadas profundas do perfil do solo quando comparadas com áreas de lavouras (TRUJILLO et al., 2006).

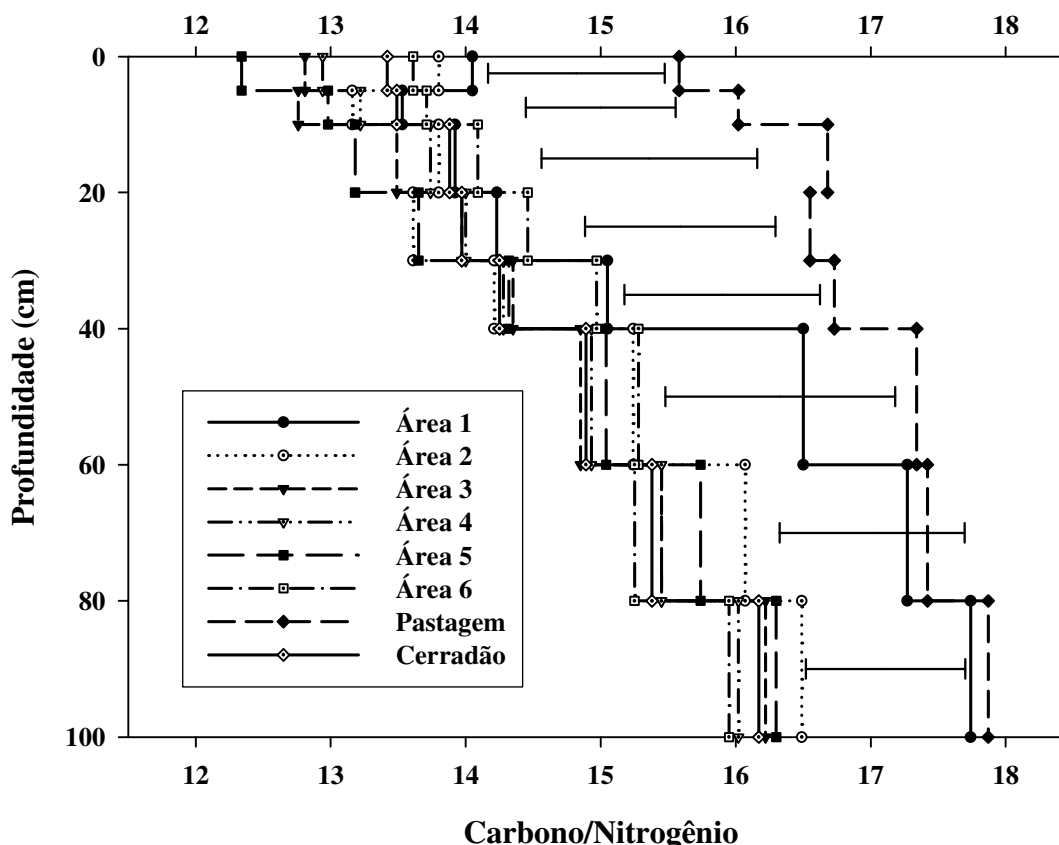
Nas camadas mais profundas, abaixo de 40 cm as diferenças entre as áreas tendem a ser menores uma vez que a contribuição das raízes em subsuperfície diminui. Assim, esses teores se encontram entre 7 e 13 g kg solo<sup>-1</sup> com uma tendência a diminuir direta e proporcionalmente com a profundidade. Novamente as áreas sob cultivo de pastagem apresentaram destaque em relação às áreas com lavouras e até mesmo sobre o cerradão. Isso é devido à maior exploração do perfil do solo pelo sistema radicular dessa cultura (BRÁS et al., 2005). Entretanto, o fato de os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  em profundidade das áreas sobre SILP em pastagem estarem mais enriquecidos em relação às áreas de cerradão e pastagem contínua indica que nestas áreas está havendo entrada de carbono novo ( $\text{C}_4$ ) em quantidade significativa nos intervalos a baixo de 40 cm (Figura 4), mas essa entrada de C novo pouco esta influenciando no conteúdo de C total do solo. Isso reforça a ideia de que a área sob pastagem contínua preservou mais o carbono natural do que as áreas de SILP, onde outrora houve perda carbono em função do manejo, mas que vêm em crescente recuperação.

De maneira geral, os teores de nitrogênio acompanham o padrão do carbono em uma menor magnitude. A relação C/N varia entre 13 e 15 (C/N), tendendo a aumentar em profundidade, onde essa sobe para próximo a 18. Esse padrão se deve em grande parte à fração de carvão que compõe o carbono total dos solos do cerrado (JANTALIA et al., 2007), que possui elevada relação C/N por ser um produto da carbonização da biomassa, por ter elevada recalcitrância (LIANG et al., 2011; SCHIMIDT et al., 2011), e não fazer parte do carbono dinâmico do solo, ou seja, não se altera facilmente em função do manejo. Estudos de estoques de carbono no cerrado mostraram que essa fração pode chegar a 30% do carbono total do solo, podendo mascarar os efeitos do manejo do solo sobre a matéria orgânica ativa (JANTALIA et al., 2007).



**Figura 6.** Teores de nitrogênio do solo nos diferentes intervalos de profundidade das seis áreas sob Sistema de Integração Lavoura Pecuária (SILP), Pastagem e Cerradão. \*Barras horizontais representam a diferença mínima significativa (DMS) pelo teste t com correção de Bonferroni a 5% de probabilidade.

Na área sob pastagem contínua, encontra-se a mais elevada relação C/N que pode ser explicada por dois principais motivos. O primeiro em função de uma possível influência da fração de serrapilheira finamente moída de alta relação C/N que é difícil de separar da amostra de solo, contabilizada nas análises como C orgânico humificado. Por outro lado, essa elevada relação C/N pode estar associada à fração da biomassa oxidada na renovação das pastagens onde se utilizavam queimadas.

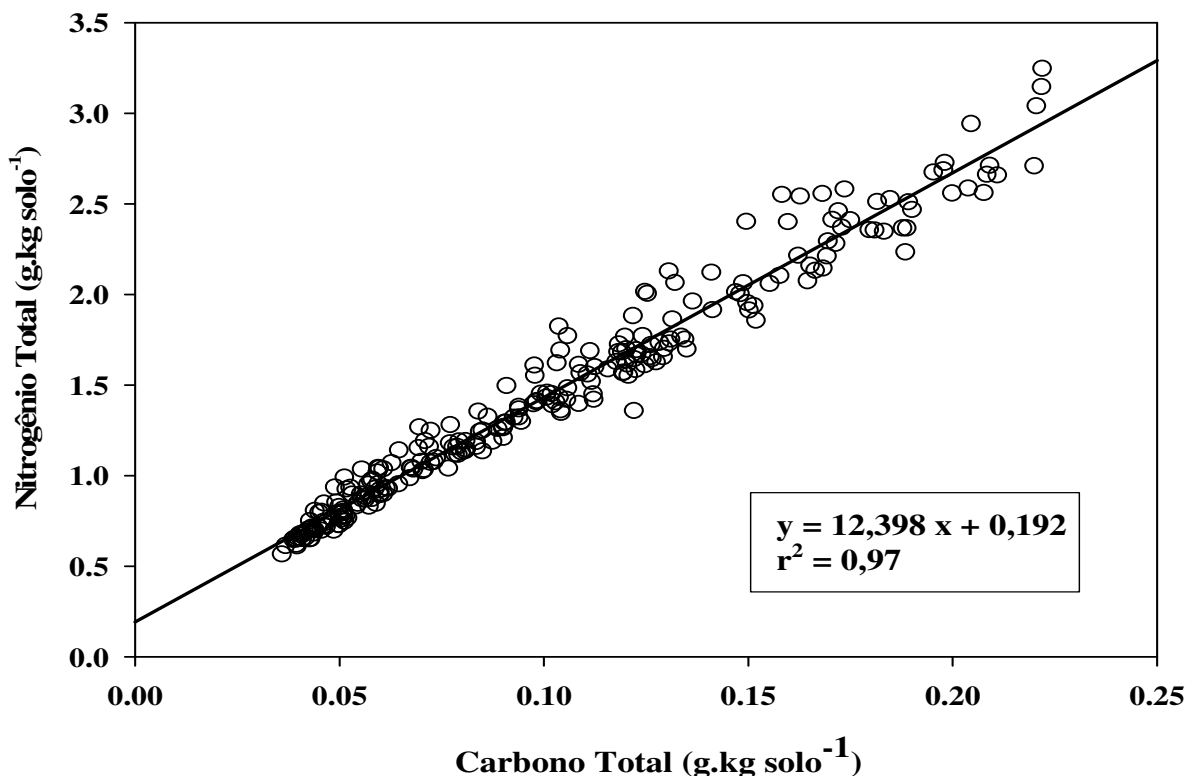


**Figura 7.** Relação carbono/nitrogênio do solo nos diferentes intervalos de profundidade das seis áreas sob Sistema de Integração Lavoura Pecuária (SILP), Pastagem e Cerradão. \*Barras horizontais representam a diferença mínima significativa (DMS) pelo teste t com correção de Bonferroni a 5% de probabilidade.

Nas outras áreas, a relação C/N em superfície está mais ligada à cultura que está sendo cultivada. Nas áreas sob lavoura (3, 4 e 5) tem-se uma relação C/N mais baixa que as áreas sob pastagem (1, 2 e 6). Em profundidade, com exceção da área 1 e da pastagem, a relação C/N tende a ser próxima à da área de cerradão. Esse efeito tanto na área 1 quanto na pastagem contínua pode estar refletindo uma maior extração de N em profundidade elevando sutilmente a relação C/N.

Na Figura 8 observa-se que os teores de carbono estão diretamente correlacionados com os de nitrogênio, indicando que a elevação dos estoques de carbono do solo está atrelada a um balanço positivo de nitrogênio no sistema (SISTI et al., 2004; BODDEY et al., 2010). De acordo com a equação da reta, levando-se em conta a pequena constante, para cada 12,6 moléculas de carbono que entram no sistema, é necessário uma de nitrogênio, ou seja, para se “sequestrar” 1000 kg de carbono no solo é preciso um balanço positivo de nitrogênio de aproximadamente 79,4 kg.





**Figura 8.** Correlação entre os teores de carbono e nitrogênio total de todas as áreas em todas as profundidades independente do manejo. \*\*Significativo a 1% de probabilidade.

#### 4.4. Estoques de Carbono e Nitrogênio do Solo

Com base nos teores de carbono e nitrogênio e nas densidades do solo nos diferentes intervalos de profundidade, foram calculados os estoques de carbono em todas as áreas para os intervalos de 0-100 e 0-40 cm e comparados com base na correção pela massa de solo conforme ELLERT & BETTANY (1995).

Pode-se observar que os estoques no intervalo de 0-40 cm, quando comparados com os de 0-100 cm, têm uma maior quantidade de carbono por intervalo de profundidade. Isso se deve ao aporte direto de material orgânico na superfície do solo, fazendo com que esta tenha os maiores teores de carbono que diminuem em profundidade (Figura 5).

Na Figura 1 foi mostrado que os estoques de carbono das áreas estão ligados não somente aos 15 anos de SILP, mas a um histórico de maior uso do solo, sendo estas utilizadas por cerca de 25 anos para o cultivo de lavouras sob preparo convencional do solo. No passado, as áreas do SILP não eram subdivididas em piquetes e foram utilizadas sobre os mesmos manejos e cultivos até 1989, quando, por apresentar alguns sinais de degradação, a área referente às áreas 1 e 2 foi cultivada com adubo verde até o ano de 1994. O resto da área, mesmo apresentando esses sinais, continuou com o cultivo de lavouras até o ano de 1994. Em 1995 a área total foi dividida em seis subáreas sob Integração Lavoura Pecuária, iniciando em fases diferentes do sistema.

Cabe observar que o manejo das áreas 1 e 2, 3 e 4, 5 e 6 foi aos pares, similar, mas com diferenças pontuais ao longo dos 15 anos de SILP e, no momento da amostragem de solo feita para a realização deste trabalho, se encontravam com diferentes usos. Outro ponto importante é que as áreas 1 e 2 foram as menos cultivadas com culturas anuais e em relação às outras permaneceram mais tempo em pousio.

Na área de cerradão, usada nesse estudo como referência natural dos estoques de carbono do perfil do solo, verificaram-se valores de acúmulo de C no perfil de 149 Mg ha<sup>-1</sup> no intervalo de 0-100 cm e 78 Mg ha<sup>-1</sup> de 0-40 cm, estando entre as áreas com maiores estoques de carbono. Esses valores de estoques foram próximos aos observados por LOSS (2011) numa área de cerradão nativo em Montevideu-GO sob um Latossolo Vermelho com as mesmas características texturais do solo em estudo. Essa proximidade está relacionada também com a elevada deposição de serrapilheira da mata de cerradão que cobre ambas áreas.

**Tabela 13.** Estoques de carbono e nitrogênio nos intervalos de profundidade de 0-100 cm e 0-40 cm com as respectivas relações C/N das seis áreas sob Sistema de Integração Lavoura Pecuária (SILP), Pastagem e Cerradão.

<b>0 - 100 cm</b>			
<b>Áreas</b>	<b>Carbono (C)</b>	<b>Nitrogênio (N)</b>	<b>C/N</b>
	<b>(Mg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>(Mg ha<sup>-1</sup>)</b>	
<b>Área 1*</b>	153,63 a	10,18 a	15,08 b
<b>Área 2*</b>	139,02 abc	9,73 a	14,30 ab
<b>Área 3**</b>	127,81 c	9,13 a	14,03 c
<b>Área 4**</b>	126,25 c	9,04 a	13,98 c
<b>Área 5**</b>	124,75 c	8,94 a	13,95 c
<b>Área 6*</b>	130,94 bc	8,96 a	14,63 b
<b>Pastagem</b>	145,90 abc	8,73 a	16,74 a
<b>Cerradão</b>	149,57 ab	10,35 a	14,46 bc
<b>DMS</b>	21,42	1,73	0,99
<b>cv%</b>	6,29	7,46	2,73
<b>0 - 40 cm</b>			
<b>Áreas</b>	<b>Carbono (C)</b>	<b>Nitrogênio (N)</b>	<b>C/N</b>
	<b>(Mg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>(Mg ha<sup>-1</sup>)</b>	
<b>Área 1*</b>	84,12 ab	6,00 ab	14,00 b
<b>Área 2*</b>	79,90 abc	5,85 abc	13,65 b
<b>Área 3**</b>	70,00 bc	5,26 abc	13,33 b
<b>Área 4**</b>	69,96 bc	5,26 abc	13,31 b
<b>Área 5**</b>	66,53 c	5,09 bc	13,08 b
<b>Área 6*</b>	72,33 abc	5,16 abc	14,01 b
<b>Pastagem</b>	78,50 abc	4,83 c	16,27 a
<b>Cerradão</b>	85,95 a	6,20 a	13,85 b
<b>DMS</b>	14,35	1,08	1,21
<b>cv%</b>	7,62	7,98	3,51

- Mesmas letras na mesma linha não diferem estatisticamente pelo teste t com correção de Bonferroni a 5% de probabilidade. Áreas 1, 2 e 6 sob pastagem\* e áreas 3, 4 e 5 sob lavouras\*\* na ocasião da amostragem. Os estoques de carbono e nitrogênio por camadas de solo se encontram no Anexo.

Da mesma forma, o estudo realizado por SÁ, (2011) em uma área de cerrado “*strictu-sensu*” em Planaltina-DF, sob as mesmas condições de solo, mostrou estoques de carbono de 0-100 cm em torno de 147 Mg ha<sup>-1</sup> que estão muito próximos da área de cerrado em estudo. Sabe-se que o teor de argila do solo tem influência direta na capacidade física do solo para armazenar carbono (FELLER & BEARE, 1997), que é próxima nos dois casos, resultando em um ponto de saturação de carbono similar (HASSINK, 1997; SIX et al., 2002; STEWART et al., 2008). No entanto, existe uma grande diferença na deposição de serrapilheira dessas duas fitofisionomias de cerrado. Sabe-se que o cerrado, em função da sua densidade, deposita consideravelmente mais material orgânico no solo que o cerrado “*strictu-sensu*” (CASTRO & KAUFFMAN, 1998; GRACIE et al., 2007). Assim, no solo sob cerrado esperavam-se estoques de carbono mais elevados, não fosse a presença de carvão pirogênico no solo do estudo de SÁ, (2011).

Em um estudo na mesma área de SÁ (2011), JANTÁLIA et al. (2007) observou que cerca de 30% do estoque total de carbono no intervalo de 0-100 cm do solo é composto por carvão, elemento de elevada relação C/N que conseqüentemente foi responsável por um elevada relação em torno de 22. Assim, em comparação à área em estudo, que tem uma relação C/N em torno de 13, o estoque de carbono encontrado por SÁ (2011) está mais associado às frações de carvão.

Um dos fatores preponderantes na distribuição das fitofisionomias de cerrado está ligado à precipitação pluviométrica, que é mais intensa nas áreas de cerrado. Já as áreas de cerrado “*strictu-sensu*” apresentam um clima mais seco, que é muito mais suscetível a queimadas constantes, depositando maiores quantidades de carvão pirogênico no solo (SALGADO-LABOUREAU, 2000). É importante observar que esse material carbonizado de elevada recalcitrância não está relacionado à dinâmica de deposição de serrapilheira, e para estudos de comparação de estoques de carbono no solo, é necessário se conhecer a relação C/N dos solos, fator que pode indicar uma maior ou menor participação de carvão no carbono orgânico do solo (JANTÁLIA et al., 2007).

Os estoques de carbono das áreas sob SILP não devem ser analisados em função apenas dos 15 anos de sua implantação (Tabela 4), mas também de um histórico de uso anterior. Na Figura 1, tem-se que esse histórico foi de aproximadamente 25 anos sob cultivo convencional do solo, o que possivelmente acarretou em uma diminuição nos teores de carbono dessas áreas, fazendo com que no início do SILP essas estivessem com reduzidos estoques de carbono. Os dados de  $\delta^{13}\text{C}$  (Figura 4) mostram que a origem do carbono do solo sob SILP vem mudando, tendendo a ter maior contribuição de C<sub>4</sub>, o que sugere que as plantas cultivadas têm contribuído com carbono no solo até mesmo nas camadas mais profundas do perfil do solo e que a área de pastagem contínua preservou mais o carbono original quando utilizou-se o cerrado como referência do carbono original do solo.

Outro ponto importante no histórico das áreas sob SILP é que o local equivalente às áreas 1 e 2 foi cultivado com adubos-verdes por cerca de quatro anos seguidos antes da implantação do SILP (Figura 1). Sabe-se que o cultivo de adubos verdes é uma importante forma de adição de nitrogênio ao solo e que esse tem influência direta na estabilização do carbono (CALEGARI, 2000; CALEGARI et al., 2008). Assim, essas áreas possivelmente entraram no SILP com teores de carbono mais elevados em função da sua maior estabilização, o que pode estar refletindo nos maiores estoques encontrados após 15 anos. Isso ressalta a importância da entrada de nitrogênio orgânico no sistema para a estabilização do carbono que irá potencializar o possível “*sequestro de carbono*” (CHRISTOPHER & LAL et al., 2007; BODDEY et al., 2010).

A menor intensidade de cultivo nas áreas 1 e 2 no início do SILP pode ter sido outro fator que contribuiu para que ambas apresentassem os maiores estoques de carbono das áreas cultivadas. Essa menor intensidade proporciona um maior equilíbrio ao sistema, preservando o carbono do solo em função da maior estabilidade dos agregados, que podem ter sido mais conservados (ZOTARELLI et al., 2007; BARRETO et al., 2009). De forma paralela, quando se cultiva lavouras (plantas com baixa relação C/N) e faz-se uso de adubações nitrogenadas, provoca-se o efeito “*priming*” no solo, que estimula a microbiota a decompor o carbono em CO<sub>2</sub> (KUZYAKOV et al., 2000).

Nas áreas de cultivo, no intervalo de 0-100 cm, os estoques de carbono das áreas sob lavouras foram inferiores, variando entre 124 e 127 Mg ha<sup>-1</sup>. Esse mesmo padrão se repetiu nos estoques de 0-40 cm com estoques entre 66 e 70 Mg ha<sup>-1</sup>. Já as áreas sob cultivo de pastagens apresentaram estoques, quase que em totalidade, estatisticamente iguais aos observados na área de cerradão nativo. No intervalo de 0-100, com exceção da área 6, os estoques foram os mais elevados, variando entre 138 e 153 Mg ha<sup>-1</sup>. A pastagem da área 6 apresentou um déficit de carbono quando comparada com a área sob cerradão apresentando um estoque de 130 Mg ha<sup>-1</sup>. Já no intervalo de 0-40, em totalidade, nas áreas sob pastagem, assim como o cerradão, foram observados os maiores estoques, que estavam entre 72 e 85 Mg ha<sup>-1</sup>.

Os maiores estoques de carbono nas áreas sob pastagem provavelmente estão associados ao volumoso sistema radicular dessa cultura que pode chegar a 30 Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa resultando em uma entrada de aproximadamente 10 Mg C ha ano<sup>-1</sup> (TRUJILLO et al., 2006). No entanto esse material tem uma relação C/N elevada que varia em torno de 60, refletindo em uma maior relação C/N dos estoques das áreas sob pastagens. Esse reflexo pode estar relacionado à fração leve, não humificada e de elevada relação C/N que contribui nas análises de carbono e nitrogênio total do solo. DÍAZ-ZORITA et al., (2002) mostraram que o cultivo de lavouras sob área de pastagem provoca uma diminuição nos estoques de carbono do solo. Essa diminuição pode ser explicada pelo fato de que grande parte do carbono que é adicionado pelas pastagens está associado à fração leve da MOS, que por ter baixa estabilidade, é facilmente perdido com a perturbação do solo.

É importante ressaltar que as áreas que estão sobre cultivo de lavouras, foram antes cultivadas com pastagens (Figura 4), tendo o mesmo aporte de carbono que as demais. Assim, essa elevada diferença nos estoques pode estar relacionada principalmente a dois fatores. No SILP, após o cultivo das pastagens, é introduzido o elemento lavoura com baixa relação C/N junto aos adubos nitrogenados. Assim, o primeiro fator pode estar relacionado ao efeito “*priming*” resultante da elevação da quantidade de N no solo que estimula a microbiota a decompor o carbono adicionado pela pastagem, provocando uma diminuição dos estoques de carbono nessa substituição (KUZYAKOV et al., 2000). ZOTARELI, (2000) observou que a presença de resíduos de leguminosas estimulou a decomposição de resíduos de gramíneas no solo. No entanto, essas perdas raramente passam de 3 Mg C ha<sup>-1</sup> (KUZYAKOV et al., 2000).

O segundo fator está relacionado à estabilidade do carbono no solo. SISTI et al., (2004) observaram a importância de um balanço positivo de nitrogênio para a fixação e estabilização de carbono no solo, demonstrando uma estreita relação entre o teor de C e N, do qual se deduz que a elevação do conteúdo de C do solo não depende somente do aporte de resíduos ao solo, mas de que haja N disponível no sistema para atender à demanda das culturas e um excedente integrando os resíduos que irão constituir a MOS. Sabe-se que a relação C/N da matéria orgânica em solos tropicais varia em torno de 11 e 13 (STEVENSON, 1994), sendo tão importante quanto o carbono a entrada de nitrogênio no solo para que o C possa evoluir junto com o nitrogênio através das vias de formação das substâncias húmicas às formas mais estáveis e ser então estocado no solo de forma mais prolongada (CHRISTOPHER & LAL et al., 2007). Com base nessa

relação, estima-se que para fixar 1 Mg de carbono no solo é necessário algo em torno de 86 kg de nitrogênio.

BODDEY et al. (2010) ressaltaram a importância de que esse nitrogênio seja de origem orgânica. CALEGARI et al. (2008) mostraram que o uso de leguminosas de cobertura (adubo verde) é uma importante estratégia para a entrada de N-orgânico no solo. No SILP, a maioria das plantas cultivadas tem elevada relação C/N e mesmo as leguminosas, como soja e feijão (baixa relação C/N) que foram cultivadas, não proporcionaram um balanço significativamente positivo de N no solo (ZOTARELI, 2000). Ainda no caso da soja, baseado em estimativas feitas por ALVES et al., (2003, 2006), é possível afirmar que essa cultura não proporciona uma significativa contribuição aos estoques do N no solo por não apresentar balanço positivo de N no sistema solo.

Assim, é possível que com a substituição da pastagem pelas lavouras, o carbono incrementado pelo sistema radicular da primeira esteja sendo perdido em função de sua baixa estabilidade, uma vez que, por falta de um balanço positivo de nitrogênio, este não evoluiu às formas mais estáveis da matéria orgânica (substâncias húmicas) permanecendo na fração leve que é facilmente decomposta e perdida.

Os estoques de carbono na pastagem contínua foram próximos aos das pastagens em SILP, no entanto, na área sob SILP, têm-se elevadas produtividades, tanto de carne quanto de grãos. Assim, mesmo que tenham os mesmos estoques de carbono, elas não devem ser equiparadas, uma vez que a intensificação dos sistemas produtivos é, tanto quanto os sistemas acumuladores de carbono, importante para a mitigação do efeito estufa. Considerando a crescente demanda de alimentos no mundo, o uso de sistemas extensivos, como o da pastagem contínua desse estudo, implicaria em um aumento de área cultivada associado ao desmatamento (FOLEY et al., 2011). Dessa forma, a área sobre SILP apresenta uma grande vantagem sobre a pastagem contínua por produzir mais alimento por unidade de área.

Por fim, o estabelecimento da lavoura sobre a pastagem não deve ser visto como um “vilão” do carbono depositado, uma vez que um dos maiores pilares da integração lavoura pecuária se estabelece no aproveitamento da adubação residual das lavouras pelas pastagens (KLUTHOCOUSKI et al., 2000; MACEDO, 2009; VILELA et al., 2011). Os nutrientes residuais dos fertilizantes (observados no tópico 4.2 deste trabalho) junto aos resíduos culturais proporcionam uma relação bem sucedida que gera as pastagens condições de se desenvolverem bem, uma vez que suas elevadas produções de biomassa estão atreladas às condições de fertilidade do solo (FASSIO et al., 2008; SANTOS et al., 2010). Essa elevada produção tem possibilitado uma grande deposição de carbono no solo elevando os estoques deste elemento, contribuindo dessa forma a mitigar o efeito estufa.

Tendo em vista potencializar a capacidade do SILP em acumular carbono atmosférico no solo, deve-se pensar em estratégias que proporcionem um balanço de nitrogênio positivo no sistema solo-planta. Para isso, a rotação de culturas do SILP deve ser idealizada com parâmetros científicos e o uso de adubos verdes nas entressafras se mostra como uma boa estratégia para elevar o ingresso de nitrogênio orgânico no solo proporcionando a elevação do balanço de N (CALEGARI, 2000; CALEGARI et al., 2008; BODDEY et al., 2010).

## 5. CONCLUSÕES

O SILP foi mais eficiente na manutenção da fertilidade do solo possibilitando maior produtividade animal quando comparado com a produção na pastagem contínua.

Os estudos com  $^{13}\text{C}$  demonstram que a vegetação nativa atual é, em uma escala de tempo geológico, recente, onde o ciclo fotossintético foi alterado de  $\text{C}_4$  para  $\text{C}_3$ .

O sistema de pastagem contínua preservou mais eficientemente o C original do solo nas camadas mais profundas do perfil do solo.

Evidenciado pela composição isotópica do solo, as áreas sob SILP adicionaram carbono em profundidade acima de 60 cm, principalmente as pastagens.

Independente da profundidade do solo e dos sistemas de manejo, a relação C/N do solo variou, estreitamente, em torno de 12,4.

As áreas com menos intensificação no uso com culturas anuais apresentaram os maiores estoques de C e N no solo.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora alguns sistemas de manejo acumulem estoques de carbono no solo próximos aos sob mata nativa, não se deve omitir todo o carbono que foi perdido na forma de biomassa na parte aérea da floresta quando desmatada na implantação dos sistemas agrícolas. O uso do termo sequestro de carbono, que implicaria em um balanço positivo de carbono no sistema, deve ser repensado uma vez que para acumular maiores estoques de carbono no solo, perdeu-se em torno de 20 Mg C ha<sup>-1</sup> na parte aérea e, na maioria dos casos, tem-se perdido mais carbono do que se tem estocado no solo.

O aumento na produção de alimentos se faz necessário frente ao exponencial crescimento da população mundial que de acordo com a FAO ultrapassará os 8 bilhões de habitantes nos próximos 20 anos. A pergunta que se faz é: O aumento na produção de alimentos deve ser baseado no aumento de área ou no aumento de produtividade?

O aumento de área implicaria em expansão de fronteiras agrícolas frente a ecossistemas florestais importantes ao meio ambiente, desmatando e emitindo elevadas quantidades de carbono para atmosfera. Além disso, as perdas no que diz respeito à biodiversidade, clima e outras funções desses ecossistemas seriam incalculáveis. Dessa forma, resolver-se-ia um problema que acarretaria em outro, e que a médio-longo prazo pode ser irreversível.

Já o aumento de produtividade parece mais racional, uma vez que tem-se a oportunidade de aumentar a produção de alimentos e elevar os estoques de carbono no solo. Sabe-se que no Brasil, existem cerca de 198 milhões de ha de pastagens e que cerca de 70% dessas encontra-se em algum processo de degradação. Essa degradação muitas vezes é caracterizada por uma redução acentuada nos estoques de carbono do solo. Visando um manejo correto da fertilidade do solo, o SILP além de elevar a produtividade, ajuda na recuperação desses solos. Dessa forma, se toda essa área de pastagem fosse recuperada, certamente desses 198 milhões de ha, sobraria área para o cultivo de outras culturas importantes para a segurança alimentar do país.

Os estoques de carbono encontrados nesse estudo tiveram grande influência das culturas que estavam sob o solo no momento da avaliação, no entanto observou-se influência dos tipos de culturas ao longo do histórico de uso da terra. As rotações onde foram cultivados adubos verdes certamente favoreceram uma maior entrada de nitrogênio orgânico no sistema, refletindo em maiores estoques de carbono no solo. Esses resultados dão indícios de que rotações que favoreçam um balanço positivo de nitrogênio no solo são mais promissoras na elevação dos estoques de carbono do solo.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADÁMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L. G.; MADEIRA NETTO, J. Caracterização da região dos Cerrados. In: GOEDERT, W. J., ed. Solos dos Cerrados. São Paulo: Nobel, P. 33-73. 1985.
- AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; GONSALVES, C. N.; DA ROS, C. O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, p.157-165, 2001.
- AITA, C.; CERETTA, C. A.; THOMAS, A. L.; PAVINATO, A. & BAYER, C. Espécies de inverno como fonte de nitrogênio para o milho no sistema de cultivo mínimo e feijão em plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.18, p.101-108. 1994.
- ALLEN, V. G.; BAKER, M. T.; SEGARRA, E. et al. Integrated irrigated crop-livestock systems in dry climates. Agronomy Journal, Madison, v. 99, p. 346-360, 2007.
- ALVES, B. J. R.; OLIVEIRA, O. C.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Métodos isotópicos. In: SANTOS, G A; CAMARGO, F A O (Org.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Gênese, Porto Alegre, p. 337-357. 1999.
- ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. The success of BNF in soybean in Brazil. Plant and Soil, 252:1-9, 2003.
- ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; FERNANDES, F. M.; HECKLER, J. C.; MACEDO, R. A. T.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA S. Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de N em soja; milho e algodão. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 41:449-456, 2006.
- AMADO, T. J. C.; MILENICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.24, p.179-189. 2000.
- AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. Revista Brasileira da Ciência do Solo, 25:189-197, 2001.
- ARAÚJO, V. A. Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil - PLGB. folha SE.22-X-B-I - Nerópolis. Brasília, DF: CPRM, 120 p. 1994.
- AYARZA, M. A. ; VILELA, L.; BARCELLO, A. O.; BALBINO, L. C.; BROSSARD, M.; PASINI, A. Intégracion culture-élevage dans lês Cerrados au Brésil: une solution pour des systèmes durables. Agriculture Développement 18, 91-98, 1998.
- BALBINOT JR, A. A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas, Ciência Rural, v.39 p.1925-1933, 2009.
- BALBINOT JR., A. A. Uso do solo no inverno: propriedades do solo, incidência de plantas daninhas e desempenho da cultura de milho. 150f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-graduação em Agronomia – Produção Vegetal, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Paraná. 2007.



- BALESDENT, J.; WAGNER, G.H.; MARIOTTI, A. Soil organic matter turnover in long-term field experiments as revealed by carbon-13 natural abundance. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v.52, p.118-124. 1988.
- BALESDENT, J.;MARIOTTI, A. Natural <sup>13</sup>C abundance as a tracer for studies of soil organic matter dynamics. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.19, p.25-30. 1987.
- BARRETO, R. C.; MADARI, B.E.; MADDOK, J.E.L.; MACHADO, P.L.O.A.; TORRES, E.; FRANCHINI, J.; COSTA, A.R. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO<sub>2</sub> in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 132 p.243–251, 2009.
- BAYER, C. & BERTOL I. Características químicas de um Cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo; com ênfase à matéria orgânica. *Revista Brasileira da Ciência do Solo*, 23:687-694, 1999.
- BAYER, C.; LOVATO, T.; DIEKOW, J.; ZANATTA, J.A. & MIELNICZUK, J. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. *Soil and Tillage Research*, 91:217-236, 2006b.
- 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*, 54:101-109, 2000.
- BAYER,C; L ; MIELNICZUCK.J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, p.105-112. 1997.
- BODDEY, R M; MACEDO, R; TARRÉ, R M; FERREIRA, E; OLIVEIRA, O C; REZENDE, C D P; CANTARUTTI, R B; PEREIRA, J M; ALVES, B J R; URQUIAGA, S. Nitrogen cycling in Brachiaria pastures: the key to understanding the process of pasture decline. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.103, p.389-403, 2004.
- BODDEY, R.M.; JANTALIA, C. P.; CONCEIÇÃO, P.C.; ZANATTA, J.A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; DOS SANTOS, H.P.; DENARDIN, J.E.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. *Global Change Biology*, 16:784-795, 2010.
- BODDEY, R.M.; PEOPLES, M.B.; PALMER, B.; DART, P.J. Use of the <sup>15</sup>N natural abundance technique to quantify biological nitrogen fixation by woody perennials. *Nutrient Cycling in Agroecosystem* 57:235-270, 2000.
- BONDE,T.A.; CHRISTENSEN,B.T.; CERRI,C.C. Dynamics of soil organic matter as reflected by natural <sup>13</sup>C abundance in particle size fraction of forested and cultivated oxisols. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.24, p.275-277. 1992.
- BRAZ, S.P. Produtividade de pastagens de Brachiaria nas regiões sudeste e centro-oeste do Brasil e o estoque de carbono e nitrogênio no solo. Ph.D. Tese. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 90 p. 2005.
- BRAZ, S.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; GUIMARÃES, A.P.; BODDEY, R. M. Impacto do Plantio e a Produtividade de Pastagens de Braquiária nos Estoques do Carbono do Solo na Região dos Cerrados. In: *Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e Água*. 22., 2010. Teresina, Embrapa Meio Norte, 2010.
- BREMNER, J. M.. Inorganic forms of nitrogen. In: *Methods of Soil Analysis*; edited by C. A. Black; Madison; WI; USA:American Society of Agronomy, p.1179-1237. 1965.

- BUSTAMANTE, M.M.C.; MEDINA, E.; ASNER, G.P.; NARDOTO, G.B.; GARCIA-MONTIE, D.C. Nitrogen cycling in tropical and temperate savannas. *Biogeochemistry* 79:237; 2006.
- CADISCH, G. ; GILLER, K.E. Estimating the contribution of legumes to soil organic matter build up in mixed communities of C3/C4 plants. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.28, p.823-825. 1996.
- CALEGARI A. Coberturas verdes em sistemas intensivos de produção. IN: Mercante F.M (Ed) Workshop: Nitrogênio na sustentabilidade de sistemas intensivos de produção agropecuária. Ed., Dourados, MS, p. 141-153. 2000.
- CALEGARI, A.; HARGROVE, W.L.; RHEINHEIMER, D.D.; RALISCH, R.; TESIÉ, D.; TOURDONNET, S.; GUIMARÃES, M.F. Impact of Long-Term No-Tillage and Cropping System Management on Soil Organic Carbon in an Oxisol: A Model for Sustainability, *Agronomy Journal*, v.100 p.1013–1019, 2008.
- CAMARGO, F.A.O.; SANTOS, G.A.; GUERRA, J.G.M. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Eds). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Genesis, p 27-40. 1999.
- CAMARGO, L. A.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T.; HORVAT, R. A. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um latossolo sob diferentes formas do relevo. I - Mineralogia da Fração Argila, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32p.2269–2277, 2008.
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J. & PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:121-126, 1995.
- CANALLI, L. B.; ROLOFF, G. Influência do preparo e da correção do solo na condição hídrica de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 21, p. 99-104, 1997. Referências adicionais: Brasil/Português; Meio de divulgação: Impresso; ISSN/ISBN: 01000683. Acesso em janeiro de 2010.
- CARMO, D.A.S. Algumas considerações sobre agricultura irrigada na região dos cerrados. In: *Simposio Sobre o Cerrado*, 7., 1989, Brasília. Anais. Planaltina: EMBRAPA, CPAC. p.87-97. 1997.
- CARVALHO, M.M. Recuperação de pastagens degradadas. Coronel Pacheco: EMBRAPA - CNPGL. 51p. (Documentos, 55), 1993.
- CASTRO, E. A. & KAUFFMAN, J. B. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root mass and consumption by fire *Journal of Tropical Ecology*, v.14 p.263–283, 1998.
- CASTRO, O.M. de; VIEIRA, S.R.; MARIA, I.C. Sistemas de preparo do solo e disponibilidade de água. In: *SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA*, Campinas, 1987. Anais. Campinas : Fundação Cargill, p.27-51, 1987.
- CERRI C.C., VOLKOFF B., EDUARDO B.P. Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em latossolo amarelo da Amazônia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas (SP), v.9, p.1-4. 1985.
- CHAPUIS-LARDY, L.; BROSSARD, M.; LOPES ASSAD, M.L.; LAURENT, J.Y. Carbon and phosphorus stocks of clayey ferralsols in Cerrado native and agroecosystems; Brazil. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 92:147-158, 2002.

- CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Advances in Soil Science*, v. 20, p. 1-90, 1992.
- CHRISTOPHER, S.F.; LAL, R. Nitrogen management effects carbon sequestration in north American cropland soils. *Critical Reviews in Plant Sciences*, v. 26, p. 45-64, 2007.
- CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de 2011/2012. Relatório Anual. Disponível em [www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br). 2011.
- CORAZZA, E.J.; DA SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; GOME, S.A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de Cerrado. *Revista Brasileira da Ciência do Solo*, 23:425-432, 1999.
- COSTA, J. L da S. Conhecendo a microbiologia do seu solo antes de entrar no Plantio Direto. In: *Jornal Direto no Cerrado*, APDC, Goiânia, GO, n. 6, p. 6, 1997.
- CRUZ FILHO, A.B. Práticas agrônômicas para o estabelecimento de pastagens - Curso de pecuária leiteira. Coronel Pacheco: EMBRAPA - CNPGL. 25p. (Documentos, 37) 1990.
- DENARDIN, J.E. Sistemas conservacionistas no Brasil – Importância e problemas de adoção no Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Ciência do solo, 24, Goiânia, Resumos. Sociedade Brasileira de Ciência do solo, p.73-74, 1993.
- DENARDIN, J.E. Projeto metas: uma parceria em pesquisa e desenvolvimento aplicada ao sistema plantio direto no Sul do Brasil. In: RASOLO, F.; RAUNET, M. (Eds) *Gestion agrobiologique des sols et des systemes de culture*. Montpellier, France, Cirad, p.419-428. 1999.
- DÍAZ-ZORITA, M.; DUARTE, G. A.; GROVE, J. H. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *Soil & Tillage Research*, v.65, p.1-18. 2002.
- ELLERT, B.H. & BETTANY, J.R. Temperature dependence of net nitrogen and sulfur mineralization. *Soil Science Society of American Journal* 56:1133-1141, 1995.
- ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.13, p.259-267. 1989.
- EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço nacional de levantamento e conservação do solo. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro. 1997.
- EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, segunda edição. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, 2007.
- ENTZ, M.H. et al. Potential of forages to diversify cropping systems in the Northern Great Plains. *Agronomy Journal*, Madison, v.94, n.1, p.204-213, 2002.
- ENTZ, M.H. et al. Rotational benefits of forages crops in Canadian prairie cropping systems. *Journal of Production Agriculture*, Madison, v.8, n.4, p.521-529, 1995.
- FANCELLI, A.L.; FAVARIN, J.L. Realidade e perspectivas para o sistema de plantio direto no Estado de São Paulo. In: FANCELLI, A.L. (Coord.) *Plantio direto no Estado de São Paulo*. Piracicaba : FEALQ/ESALQ, p.15-34, 1989a.
- FARQUHAR, G.D.; EHLERINGER, J.R.; HUBICK, K.T. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology*, v.40, p.503-537. 1989.

- FASSIO, P. O.; DUARTE, N. F.; MELO, P. F.; PINTO, D. M.; OLIVEIRA, J. R. Recuperação de pastagem degradada de *Brachiaria brizantha* cv Marandu sob diferentes adubações associadas à inoculação de Fungos Micorrízicos Arbusculares. In: I Jornada Científica e VI FIPA do CEFET Bambuí, Resumos expandidos. Bambuí-MG – 2008.
- FEIGL, B J; MELILLO, J; CERRI, C C. Changes in the origin and quality of soil organic matter after pasture introduction in Rondônia (Brazil). *Plant and Soil*, v.175, p.21-29, 1995.
- FELLER, C & BEARE, M H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, v.79, p.69-116, 1997.
- FOLEY, J. A.; RAMANKUTTY, N.; BRAUMAN, K. A.; CASSIDY, E. S.; GERBER, J S.; JOHNSTON, M.; MUELLER, N. D.; O'CONNELL, C.; RAY, D. K.; WEST, P. C.; BALZER, C.; BENNETT, E. M.; CARPENTER, S. R.; HILL, J.; MONFREDA, C.; POLASKAY, S.; ROCKTRÖM, J.; SHEEHEN, J.; SIEBERT, S.; TILMAN, D.; ZAKS, D. P. M. Solutions for a cultivated planet. *Nature*, v.478, p.337-342, 2011.
- FREITAS, P.L.D.; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARRÉ-LARROOY, M.C. ; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 35, p. 157-170. 2000.
- FREIXO, A.A.; MACHADO, P.L.O.A.; DOS SANTOS, H.P.; SILVA, C.A.; FADIGAS F.S. Soil organic carbon and fractions of a Rhodic Ferrasol under the influence of tillage and crop rotation systems in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, 64:221-230, 2002.
- GASSEN, D. N.; GASSEN, F. R. *Plantio direto: o caminho do futuro*. Passo Fundo: Aldeia Sul, 207 p, 1996.
- GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Fósforo. In: GOEDERT, W.J., ed. *Solos dos Cerrados: Tecnologias e estratégias de manejo*. São Paulo: Nobel. P. 129-166. 1985.
- GOUVEIA, S E M; PESSENDA, L C R; ARAVENA, R; BOULET, R; SCHEELS-YBERT, R.; BENDASSOLI, J.A.; RIBEIRO, A S; FREITAS, H.A. Carbon isotopes in charcoal and soil in studies of paleovegetation and climate changes during the late Pleistocene and the Holocene in the southeast and centerwest regions of Brazil. *Global and Planetary Change*, v.33, p.95-106. 2002.
- GRACE, J.; JOSÉ, J. S.; MEIR, P.; MIRANDA, H. S.; MONTES, R. A. Productivity and carbon fluxes of tropical savannas, *Journal of Biogeography*, v.33 p.387–400, 2006.
- HARRIS, R. F.; CHESTERS, G.; ALLEN, O. N. Dynamic of soil aggregation. *Advances in Agronomy*, New York, v. 18, p. 107-169, 1996.
- HASSINK, J. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles, *Plant Soil*, p. 77–87, 1997.
- HEINRICH, R.; AITA, C.; AMADO, T. J. C.; FANCELLI, A. L. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: Relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, p.331-340. 2001.
- HERRIDGE, D. Relative abundance of ureides and nitrate in plant tissues of soybean as a quantitative assay of nitrogen fixation. *Plant Physiology* 70:01-06, 1982.
- HILLEL, D. *Environmental soil physics*. New York, Academic Press, 771 p. 1998.
- IBGE. *Climas do Brasil*. Rio de Janeiro: Ministério do planejamento, orçamento e gestão; Diretoria de Geociências. 1978. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default\\_prod.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm)> Acesso em: 08 out. 2009.

- JANTALIA, C.P.; ALVES, B.J.R.; ZOTARELLI, L.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. Mudanças no Estoque de C do solo em Áreas de Produção de Grãos: Avaliação do Impacto do Manejo do Solo. In: ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; CAMARGO, F.A.O. (Org.). Manejo de Sistemas Agrícolas: Impacto no sequestro de C e nas Emissões de Gases de Efeito Estufa. Porto Alegre, Gênese, p. 35-58. 2006.
- JANTALIA, C.P.; RESCK, D.V.S.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Effect of tillage intensity on carbon stocks under a soybean based crop rotation in the Brazilian Cerrado. *Soil & Tillage Research*, 85:97-109, 2007.
- JASTROW, J.D; BOUTTON, T.W.; MILLER, R.M. Carbon dynamics of aggregate-associated organic matter estimated by carbon-13 natural abundance. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v.60, p.801-807. 1996.
- KLUTHCOUSKI, J. ; COBUCCI, T. ; AIDAR, H. ; YOKOYAMA, L. P. ; OLIVEIRA, I. P. ; COSTA, J. L. ; SILVA, J. G. ; VILELA, L. ; BARCELLOS, A. O. ; MAGNABOSCO, C. U. Sistema Santa Fé - Tecnologia Embrapa: integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, (Circular Técnica, 38) 2000.
- KUZYAKOV, Y.: FRIDEL, J. K.: STAHR, K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 32, p. 1485-1498, 2000.
- LAL, R. Residue management conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO<sub>2</sub>-enrichment. *Soil Tillage Research* 43, 81-107, 1997.
- LAL, R.; KIMBLE, J.M.; STEWART, B.A.. *Global Climate Change and Tropical Ecosystems*; Boca Raton; FL.:CRC Press, 438 pages. 2000.
- LAL, R; FOLLETT, R F; KIMBLE, J; COLE, C V. Managing U.S. cropland to sequester carbon in soil. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.54, n.1, p.374-381, 1999.
- LANDERS, J. N. Tropical crop-livestock systems in conservation agriculture. The Brazilian experience. *Integrated Crop Management*, v. 5, FAO Rome, 2007.
- LIANG, B.; LEHMENN, J.; SOHI, S. P.; THIS, J. E.; O'NEILL, B.; TRUJILLO, L.; GAUNT, J.; SOLOMON, D.; GROSSMAN, J.; NEVES, E. G.; LUIZÃO, F. J. Black carbon affects the cycling of non-black carbon in soil, *Organic Geochemistry*, v. 41 p. 206-213, 2011.
- LOSS, A. Dinâmica da matéria orgânica, fertilidade e agregação do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso no cerrado goiano. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 133 p., 2011.
- MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas, *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38 p.133–146, 2009.
- MACEDO, M.C. M. Pastagens no ecossistema Cerrados: pesquisas para o desenvolvimento sustentável. *Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia* 28-62, 1995.
- MACHADO, P.L.O. DE A. & SILVA, C.A.. Soil management under no-tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 61:119-130, 2001.
- MAGNABOSCO, C.U.; BARCELLOS, A.O.; OLIVEIRA, I.P.; SAINZ, R.D.; VILELA, L.; FARIA, C.U.; COSTA, D.O. Desempenho do comportamento animal no sistema PIAP. In: *Workshop Internacional Programa de Integração Agricultura e Pecuária para o Desenvolvimento Sustentável das Savanas Tropicais*, Santo Antônio de Goiás, 2001. Anais.

Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA-CNPAP p.31-45. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 123 / Embrapa Cerrados. Documentos, 28) 2001.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Soil physical quality under crop-livestock management systems in a Cerrado Oxisoil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 42, 873-882, 2007.

MARCHÃO, R.L.; BECQUER, T.; BRUNET, D.; BALBINO, L.C; VILELA, L.; BROSSARD, M. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13 year effects of integrated crop-livestock management systems. *Soil & Tillage Research*, 103:442-450, 2009.

MARTIN, A.; MARIOTTI, A.; BALESSENT, J.; LAVELLE, P.; VUATTOUX, R. Estimate of organic matter turnover rate in a savanna soil by  $^{13}\text{C}$  natural abundance measurements. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.22, p. 517-523. 1990.

McKENZIE, B. A.; HAMPTON, J. G.; WHITE, J. G. H. et al. Annual crop production principles. In: WHITE, J.; HODGSON, J. (Eds) *New Zealand Pasture and Crop Science*. Oxford: Oxford University press, p. 199-212, 1999.

MEIRELES, M. Soil Carbon storage and sequestration potential in the Cerrado region of Brasil. IN: *Carbon sequestration in soils of latin america*. Ed Lal, R.; Kimble, J. E Follet, R. F. Howarth Press, New York. 2005.

MEIRELLES, N.M.F. Degradação de Pastagens: Critérios de Avaliação. In: *Anais Encontro sobre Recuperação de Pastagens: 1*, Nova Odessa, p.27-48, 1993.

MELLO, L.M.M.; YANO, E.H.; NARIMATSU, K.C.P.; TAKAHASHI, C.M.; BORGHI, E. Integração agricultura-pecuária em plantio direto: produção de Forragem e resíduo de palha após pastejo. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v.24, n.1, p.121-129, 2004.

MENDONÇA, L. A. R.; FRISCHKORN, H.; SANTIAGO, M. F.; CAMARGO, P. B.; LIMA, J. O. G.; FILHO, J. M. Identificação de mudanças florestais por  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  dos solos da Chapada do Araripe, Ceará, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14 p.314-319, 2010.

MODENESI, M.C; MATSUI, E; VOLKOFF, B. Relação  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  nos horizontes húmiferos superficiais e nos horizontes escuros profundos dos solo de Campos do Jordão, São Paulo, Brasil. In: *Colóquio regional sobre matéria orgânica do solo*, Piracicaba, 1982. Anais... Piracicada: Esalq-USP, p.155-160. 1982.

MORAES et al. Integração agropecuária em sistema plantio direto: integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. In: *ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA*, 9., 2004, Chapecó, SC. Anais... Ponta Grossa: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 120p. p.19-22. 2004.

MORAES, J F L D; VOLKOFF, B; CERRI, C C; BERNOUX, M. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondônia, Brazil. *Geoderma*, v.70, p.63-81, 1996.

MUZILLI, O. Desenvolvimento e produtividade das culturas. In: *INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Plantio direto no Estado do Paraná*. Londrina: IAPAR, p.199-203. (Circular, 23), 1981b.

NEILL, C.; MELILLO, J.M.; STEUDLER, P.A.; CERRI, C.C.; DE MORAES, J.F.L; PICCOLO, M.C; BRITO, M. Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern Brazilian Amazon. *Ecological Applications*, 7:1216-1225; 1997.

- O'BRIEN, B.J. ; STOUT, J.D. Movement and turnover of soil organic matter as indicated by carbon isotope measurements. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v.10, p.309-317. 1978.
- OLIVEIRA, O. C. Parâmetros químicos e biológicos relacionados com a degradação de pastagens de *Brachiaria* spp. no Cerrado Brasileiro. Seropédica, RJ, Brasil: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Doutorado. 2000.
- PESSENDA, L.C.R., BOULET, R., ARAVENA, R., ROSOLEN, V., GOUVEIA, S.E.M., RIBEIRO, A.S., LAMOTTE, M., Origin and dynamics of soil organic matter and vegetation changes during the Holocene in a forest–savanna transition zone, Brazilian Amazon region. *Holocene* 11, 250–254. 2001.
- PESSENDA, L.C.R., GOMES, B.M., ARAVENA, R., RIBEIRO, A.S., BOULET, R., GOUVEIA, S.E.M. The carbon isotope record in soils along a forest–cerrado ecosystem transect: implications for vegetation changes in the Rondonia state, southwestern Brazilian Amazon region. *Holocene* 8, 631–635. 1998.
- PINHEIRO, E. F. M.; LIMA, E.; CEDDIA, M. B.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Impact of pre-harvest burning versus trash conservation on soil carbon and nitrogen stocks on a sugarcane plantation in the Brazilian Atlantic forest region, *Plant and Soil*, v. 333 p.71–80, 2010.
- REEVES, J.B; MCCARTY, G.W.; MEISINGER, J.J. Near infra-red reflectance spectroscopy for the analysis of agricultural soils. *Journal of Near Infra-red Reflectance Spectroscopy*, 7:179-193, 1999.
- RESCK, D.V.S. Matéria orgânica como fator preponderante no manejo e conservação do solo e da água na região dos cerrados. In: Encontro Brasileiro sobre Substâncias Húmicas, 2., 1997, São Carlos. Anais. São Carlos: EMBRAPA – CNPDIA, 2006.
- RIBEIRO NETO, A.C.; SILVA, F.L.; SANTOS, J.R.; CRUZ, S.C.S.; PEREIRA, F.R.S.; ALBUQUERQUE, A.W. Produção de matéria seca da *Brachiaria brizantha* Stapf. e componentes morfológicos e de produção do milho (*Zea mays*) em sistemas de integração lavoura-pecuária. In: Congresso Brasileiro de Zootecnia, 17, Congresso Internacional de Zootecnia, Resumos expandidos. Londrina: UEL/ABZ, 2007.
- ROSCOE, R.; BUURMAN P.; VELTHORST E. J.; VASCONCELLOS C. A.. Soil organic matter dynamics in density and particle size fractions as revealed by the  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  isotopic ratio in a Cerrado's oxisol. *Geoderma*, 104:185-202, 2001.
- ROSCOE, R; BUURMAN, P; VELTHORST, E J; PEREIRA, J A A. Effects of fire on 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.
- RUSSELLE, M.P. et al. Reconsidering integrated crop-livestock systems in North America. *Agronomy Journal*, Madison, v.99, n.2, p.325-334, 2007.
- SÁ, J.M. Impacto de longo prazo de sistemas agropecuários em Latossolo Vermelho representativo do cerrado: avaliação da dinâmica da matéria orgânica do solo e eficiência energética dos sistemas de produção. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 149 p., 2011.
- SALGADO-LABOUREAU, M. L. Alguns aspectos sobre a Paleoecologia dos Cerrados. In: *Paleoecologia*. EMBRAPA, p. 109-118. 2000.

- SANCHEZ, P.A.; LOGAN T.J. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. In: Lal, R.; Sanchez, P.A. (eds.) Myths and science of soils of the tropics. Madison: SSSA Spec. p.35-46. (Pub. 29). 1992.
- SANO, E.E.; BARCELLOS, A.O.; BEZERRA, H.S. Assessing the spatial distribution of cultivated pastures in the Brazilian Savanna. *Pasturas Tropicales*, 22:2-15, 2000.
- SANTOS, G. A.; DA SILVA, L.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F.; (Org.). Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo. Porto Alegre, Metrópole, p. 35-58. 2008.
- SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; RIOS, A. J. W.; RODRIGUES, C. Descrição morfológica de perfis de solos da Fazenda Capivara da Embrapa Arroz e Feijão, Série Documentos nº258/ Embrapa Arroz e Feijão, 58p. 2010.
- SANTOS, A. M. G.; MELLO, A. C. L.; LIMA, A. R. S.; DUBEUX JR, C. B.; SANTOS, M. V. F.; SARAIVA, F. M. Produção de biomassa de *Brachiaria decumbens* stapf. manejada sob diferentes intensidades de pastejo e níveis de adubação, na zona da mata de Pernambuco. In: X JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO – JEPEX, Resumos expandidos: UFRPE, Recife. 2010.
- SHEARER, G.B. & KOHL, D.H. N<sub>2</sub>-fixation in field settings: estimations based on natural 15N abundance. *Australian Journal of Plant Physiology*, 13:699-756,1986.
- SIDIRAS, N. & PAVAN, M.A.. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. *Revista Brasileira da Ciência do Solo*, 9:249-254, 1985.
- SILVA ,J.E.; RESCK, D.V.S.; CORAZZA ,E.J.; VIVALD, L. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the "Cerrado" region; Brazil. *Agriculture Ecosystems & Environment*. p 103:357-363, 2004.
- SILVA,J.E.; RESCK,D.V.S. Plantio direto no cerrado. In: PEIXOTO, R.T.G; AHRENS,D.C.; SAMAHA,M.J. (eds). Plantio Direto o caminho para uma agricultura sustentável. Londrina: IAPAR. p. 41-68. 1997.
- SISTI, C.P.J; DOS SANTOS, H.P.; KOCHHANN, R.A.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, 76:39-58, 2004.
- SIX, J.; CONANT, R. T.; PAUL, E.; PAUSTIAN, K. Mecanismos de estabilização da matéria orgânica do solo: implicações para a C-saturação dos solos, *Plant Soil*, p. 155-176, 2002.
- SKJEMSTAD, J.O, CATCHPOOLE, V.R, Le FEUVRE R. P. Carbon dynamics in Vertissol under several crops as assessed by natural abundance 13C. *Australian Journal Soil Research*, CSIRO, v.32, p.311-321. 1994.
- SCHMIDT, M. W. L.; TORN, S. M.; ABIVEN, S.; DITTMAR, T.; GUGGENBERGER, G.; JANSSENS, I. A.; KLEBER, M.; KÖGEL-KNABNER, I.; LEHMANN, J.; MANNING, D. A. C.; NANNIPIERI, P.; RASSE, D. P.; WEINER, S.; TRUMBORE, S. E. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property, *NATURE*, v. 478 p.49–56, 2011.
- SMITH B.N.; EPSTEIN S. Two categories of 13C/12C ratios for higher plants. *Plant Physiology*, v.47, p.380-384. 1971.
- SMITH J. L. ; MYUNG H. U.. Rapid procedures for preparing soil and KCl extracts for 15N analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. v.21, p.2273-2279. 1990.
- SOUSA, D. M. G. de ; VILELA, Lourival ; MARTHA JUNIOR, Geraldo Bueno . Correção e adubação do solo para culturas anuais na integração lavoura-pecuária.. In: Martha Junior,



- G.B.; Vilela, L.; Sousa, D.M.G. de. (Org.). Cerrado: Uso Eficiente de Corretivos e Fertilizantes em Pastagens.. 1 ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, v. 1, p. 189-224. 2007.
- STEVENSON, F. J. Humus chemistry: Genesis, composition, reactions. John Wiley and Sons: New York. 345p. 1994.
- STEWART, C. E.; PLANTE, A. F.; PAUSTIAN, K.; CONANT, R. T.; SIX, J. Soil carbon saturation: Linking concept and measurable carbon pools, *Soil Science Society of America Journal*, p.379–392, 2008.
- SULC, R.M.; TRACY, B.F. Integrated crop-livestock systems in the U.S. corn belt. *Agronomy Journal*, Madison, v.99, n.2, p.335-345, 2007.
- TARRÉ R. M.; MACEDO R.; CANTARUTTI R. B.; REZENDE C DE P.; PEREIRA J. M.; FERREIRA E.; ALVES B. J. R.; URQUIAGA S.; BODDEY R. M.. The effect of the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia; Brazil. *Plant and Soil*, 234:15-26, 2001.
- TRUJILLO, W.; FISHER, M. J.; LAL, R. Root dynamics of native savanna and introduced pastures in the Eastern Plains of Colombia, *Soil & Tillage Research*, v. 87 p.28–38, 2006.
- URQUIAGA S.; CRUZ K.H.S. E BODDEY R.M. Contribution of nitrogen fixation to sugar cane: nitrogen-15 and nitrogen balance estimates. *Soil Science Society of American Journal* 56:105, 1992.
- URQUIAGA, S; CADISCH, G; ALVES, B J R; BODDEY, R M; GILLER, K E. Influence of decomposition of roots of tropical forage species on the availability of soil nitrogen. *Soil Biology and Biochemistry*, v.30, n.14, p.2099-2106. 1998.
- VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um latossolo roxo de Campinas (SP), *Bragantia*, v.56 n.1.1997.
- VILELA, L.; MARTHA JR., G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; JÚNIOR, R. G.; PULRONLIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46 p.1127–1138, 2011.
- VILELA, L; BARCELOS, A.O.; SOUSA, D.M.G. Benefícios da integração entre lavoura e pecuária. Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados. 21p. (EMBRAPA-CPAC. Documentos, n. 42) 2001.
- VITORELLO,V.A.; CERRI,C.C.; ANDERSON,F.; FELLER,C.; VICTORIA,R.L. Organic matter and natural carbon-13 distribution in forested and cultivated oxisols. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v.53, p.773-778. 1989.
- VOLKOFF, B; MATSUE,E; CERRI,C.C. Discriminação isotópica do carbono no humus de latossolo e podzol da região Amazônica do Brasil.In: Colóquio regional sobre matéria orgânica do solo, Piracicaba, Anais... Piracicada: Esalq-USP, 1982.p.147-154. 1982.
- ZOTARELLI, L.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; SIX, J. Impact of tillage and crop rotation on light fraction and intra-aggregate soil organic matter in two Oxisols, *Soil & Tillage Research*, v. 95 p.196–206, 2007.
- ZOTARELLI,L. Balanço de nitrogênio numa rotação em sistema de plantio direto e convencional na Região de Londrina-PR. Seropédica, RJ, Brasil: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Mestrado. 2000.

## 8. ANEXOS

### 8.1. Dados brutos de teores de argila, silte e areia utilizados nesse estudo.

Tratamento	Repetição	Profundidade	Argila	Silte	Areia
		cm	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>
Área 1	1	0-5	454	200	346
Área 1	1	5-10	494	140	366
Área 1	1	10-20	534	160	306
Área 1	1	20-30	574	140	286
Área 1	1	30-40	654	60	286
Área 1	1	40-60	554	120	326
Área 1	1	60-80	474	200	326
Área 1	1	80-100	374	240	386
Área 1	2	0-5	714	140	146
Área 1	2	5-10	754	100	146
Área 1	2	10-20	774	120	106
Área 1	2	20-30	714	140	146
Área 1	2	30-40	714	160	126
Área 1	2	40-60	724	130	146
Área 1	2	60-80	714	180	106
Área 1	2	80-100	754	120	126
Área 1	3	0-5	494	160	346
Área 1	3	5-10	474	180	346
Área 1	3	10-20	554	120	326
Área 1	3	20-30	494	160	346
Área 1	3	30-40	554	140	306
Área 1	3	40-60	414	160	426
Área 1	3	60-80	314	160	526
Área 1	3	80-100	534	160	306
Área 1	4	0-5	534	260	206
Área 1	4	5-10	654	220	126
Área 1	4	10-20	734	160	106
Área 1	4	20-30	754	100	146
Área 1	4	30-40	694	180	126
Área 1	4	40-60	721	170	109
Área 1	4	60-80	747	120	133
Área 1	4	80-100	807	60	133
Área 2	1	0-5	587	220	193
Área 2	1	5-10	627	180	193
Área 2	1	10-20	627	220	153
Área 2	1	20-30	647	180	173
Área 2	1	30-40	747	120	133
Área 2	1	40-60	607	190	203
Área 2	1	60-80	687	180	133
Área 2	1	80-100	547	200	253

Tratamento	Repetição	Profundidade	Argila	Silte	Areia
		cm	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>
Área 2	2	0-5	647	200	153
Área 2	2	5-10	687	180	133
Área 2	2	10-20	627	200	173
Área 2	2	20-30	707	140	153
Área 2	2	30-40	753	146	101
Área 2	2	40-60	607	250	143
Área 2	2	60-80	767	40	193
Área 2	2	80-100	567	300	133
Área 2	3	0-5	641	226	133
Área 2	3	5-10	667	180	153
Área 2	3	10-20	707	140	153
Área 2	3	20-30	707	167	126
Área 2	3	30-40	747	147	106
Área 2	3	40-60	737	177	86
Área 2	3	60-80	707	167	126
Área 2	3	80-100	727	147	126
Área 2	4	0-5	687	187	126
Área 2	4	5-10	767	167	66
Área 2	4	10-20	767	167	66
Área 2	4	20-30	747	167	86
Área 2	4	30-40	767	167	66
Área 2	4	40-60	757	177	66
Área 2	4	60-80	767	147	86
Área 2	4	80-100	767	167	66
Área 3	1	0-5	587	160	253
Área 3	1	5-10	627	200	173
Área 3	1	10-20	687	120	193
Área 3	1	20-30	447	200	353
Área 3	1	30-40	547	160	293
Área 3	1	40-60	597	160	243
Área 3	1	60-80	447	160	393
Área 3	1	80-100	727	100	173
Área 3	2	0-5	667	140	193
Área 3	2	5-10	727	140	133
Área 3	2	10-20	747	120	133
Área 3	2	20-30	707	140	153
Área 3	2	30-40	747	140	113
Área 3	2	40-60	687	160	153
Área 3	2	60-80	687	160	153
Área 3	2	80-100	747	140	113

Tratamento	Repetição	Profundidade	Argila	Silte	Areia
		cm	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>
Área 3	3	0-5	654	140	206
Área 3	3	5-10	714	100	186
Área 3	3	10-20	714	40	246
Área 3	3	20-30	714	100	186
Área 3	3	30-40	754	80	166
Área 3	3	40-60	744	120	136
Área 3	3	60-80	714	140	146
Área 3	3	80-100	714	160	126
Área 3	4	0-5	614	140	246
Área 3	4	5-10	634	120	246
Área 3	4	10-20	654	100	246
Área 3	4	20-30	654	160	186
Área 3	4	30-40	674	140	186
Área 3	4	40-60	674	130	196
Área 3	4	60-80	654	140	206
Área 3	4	80-100	674	140	186
Área 4	1	0-5	567	127	306
Área 4	1	5-10	647	107	246
Área 4	1	10-20	667	107	226
Área 4	1	20-30	647	127	226
Área 4	1	30-40	667	147	186
Área 4	1	40-60	641	144	216
Área 4	1	60-80	634	160	206
Área 4	1	80-100	594	180	226
Área 4	2	0-5	534	160	306
Área 4	2	5-10	614	100	286
Área 4	2	10-20	634	80	286
Área 4	2	20-30	614	120	266
Área 4	2	30-40	614	120	266
Área 4	2	40-60	614	150	236
Área 4	2	60-80	594	160	246
Área 4	2	80-100	574	120	306
Área 4	3	0-5	574	100	326
Área 4	3	5-10	614	100	286
Área 4	3	10-20	634	120	246
Área 4	3	20-30	634	120	246
Área 4	3	30-40	654	160	186
Área 4	3	40-60	624	180	196
Área 4	3	60-80	634	180	186
Área 4	3	80-100	634	180	186

Tratamento	Repetição	Profundidade	Argila	Silte	Areia
		cm	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>
Área 4	4	0-5	614	100	286
Área 4	4	5-10	714	60	226
Área 4	4	10-20	714	80	206
Área 4	4	20-30	674	120	206
Área 4	4	30-40	694	140	166
Área 4	4	40-60	664	160	176
Área 4	4	60-80	654	100	246
Área 4	4	80-100	574	180	246
Área 5	1	0-5	529	125	346
Área 5	1	5-10	574	100	326
Área 5	1	10-20	634	80	286
Área 5	1	20-30	649	80	271
Área 5	1	30-40	669	80	251
Área 5	1	40-60	619	130	251
Área 5	1	60-80	589	160	251
Área 5	1	80-100	569	140	291
Área 5	2	0-5	509	160	331
Área 5	2	5-10	549	140	311
Área 5	2	10-20	569	120	311
Área 5	2	20-30	549	140	311
Área 5	2	30-40	629	100	271
Área 5	2	40-60	599	140	261
Área 5	2	60-80	569	140	291
Área 5	2	80-100	589	120	291
Área 5	3	0-5	509	180	311
Área 5	3	5-10	629	100	271
Área 5	3	10-20	629	100	271
Área 5	3	20-30	609	120	271
Área 5	3	30-40	649	100	251
Área 5	3	40-60	619	130	251
Área 5	3	60-80	629	140	231
Área 5	3	80-100	609	160	231
Área 5	4	0-5	569	160	271
Área 5	4	5-10	649	100	251
Área 5	4	10-20	669	80	251
Área 5	4	20-30	649	120	231
Área 5	4	30-40	669	100	231
Área 5	4	40-60	659	150	191
Área 5	4	60-80	629	140	231
Área 5	4	80-100	669	120	211

Tratamento	Repetição	Profundidade	Argila	Silte	Areia
		cm	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>
Área 6	1	0-5	569	120	311
Área 6	1	5-10	589	140	271
Área 6	1	10-20	629	100	271
Área 6	1	20-30	629	100	271
Área 6	1	30-40	649	80	271
Área 6	1	40-60	619	120	261
Área 6	1	60-80	629	140	231
Área 6	1	80-100	629	140	231
Área 6	2	0-5	594	134	271
Área 6	2	5-10	674	114	211
Área 6	2	10-20	694	114	191
Área 6	2	20-30	694	114	191
Área 6	2	30-40	734	114	151
Área 6	2	40-60	704	144	151
Área 6	2	60-80	654	114	231
Área 6	2	80-100	694	114	191
Área 6	3	0-5	574	134	291
Área 6	3	5-10	614	134	251
Área 6	3	10-20	634	134	231
Área 6	3	20-30	654	134	211
Área 6	3	30-40	654	114	231
Área 6	3	40-60	664	124	211
Área 6	3	60-80	654	174	171
Área 6	3	80-100	654	174	171
Área 6	4	0-5	614	94	291
Área 6	4	5-10	634	114	251
Área 6	4	10-20	634	114	251
Área 6	4	20-30	600	187	213
Área 6	4	30-40	620	147	233
Área 6	4	40-60	630	127	243
Área 6	4	60-80	620	127	253
Área 6	4	80-100	620	127	253
Cerradão	1	0-5	700	107	193
Cerradão	1	5-10	700	107	193
Cerradão	1	10-20	720	127	153
Cerradão	1	20-30	740	127	133
Cerradão	1	30-40	740	127	133
Cerradão	1	40-60	720	157	123
Cerradão	1	60-80	700	147	153
Cerradão	1	80-100	760	147	93

Tratamento	Repetição	Profundidade	Argila	Silte	Areia
		cm	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>
Cerradão	2	0-5	620	107	273
Cerradão	2	5-10	640	87	273
Cerradão	2	10-20	700	27	273
Cerradão	2	20-30	700	107	193
Cerradão	2	30-40	700	107	193
Cerradão	2	40-60	701	104	196
Cerradão	2	60-80	682	100	218
Cerradão	2	80-100	682	80	238
Cerradão	3	0-5	662	60	278
Cerradão	3	5-10	642	120	238
Cerradão	3	10-20	682	100	218
Cerradão	3	20-30	682	140	178
Cerradão	3	30-40	682	140	178
Cerradão	3	40-60	642	150	208
Cerradão	3	60-80	642	140	218
Cerradão	3	80-100	662	100	238
Cerradão	4	0-5	582	100	318
Cerradão	4	5-10	622	80	298
Cerradão	4	10-20	662	80	258
Cerradão	4	20-30	642	100	258
Cerradão	4	30-40	662	100	238
Cerradão	4	40-60	662	120	218
Cerradão	4	60-80	622	160	218
Cerradão	4	80-100	642	140	218
Pastagem Contínua	1	0-5	549	120	331
Pastagem Contínua	1	5-10	589	100	311
Pastagem Contínua	1	10-20	629	100	271
Pastagem Contínua	1	20-30	609	100	291
Pastagem Contínua	1	30-40	609	100	291
Pastagem Contínua	1	40-60	519	140	341
Pastagem Contínua	1	60-80	589	140	271
Pastagem Contínua	1	80-100	589	140	271
Pastagem Contínua	2	0-5	509	140	351
Pastagem Contínua	2	5-10	549	140	311
Pastagem Contínua	2	10-20	549	120	331
Pastagem Contínua	2	20-30	549	140	311
Pastagem Contínua	2	30-40	615	101	284
Pastagem Contínua	2	40-60	579	100	321
Pastagem Contínua	2	60-80	569	100	331
Pastagem Contínua	2	80-100	589	100	311

Tratamento	Repetição	Profundidade	Argila	Silte	Areia
		cm	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>
Pastagem Contínua	3	0-5	535	124	341
Pastagem Contínua	3	5-10	509	140	351
Pastagem Contínua	3	10-20	549	120	331
Pastagem Contínua	3	20-30	609	80	311
Pastagem Contínua	3	30-40	609	80	311
Pastagem Contínua	3	40-60	579	110	311
Pastagem Contínua	3	60-80	569	120	311
Pastagem Contínua	3	80-100	589	120	291
Pastagem Contínua	4	0-5	549	140	311
Pastagem Contínua	4	5-10	589	100	311
Pastagem Contínua	4	10-20	629	100	271
Pastagem Contínua	4	20-30	629	120	251
Pastagem Contínua	4	30-40	629	120	251
Pastagem Contínua	4	40-60	639	110	251
Pastagem Contínua	4	60-80	629	100	271
Pastagem Contínua	4	80-100	629	120	251



## 8.2. Dados brutos de densidade do solo utilizados nesse estudo.

Parcela	Repetição	Profundidade	Densidade
		cm	Mg m <sup>-3</sup>
Área 1	1	0-5	1,32
Área 1	1	5-10	1,27
Área 1	1	10-20	1,29
Área 1	1	20-30	1,28
Área 1	1	30-40	1,22
Área 1	1	40-50	1,18
Área 1	1	50-60	1,13
Área 1	1	60-70	1,12
Área 1	1	70-80	1,08
Área 1	1	80-90	1,09
Área 1	1	90-100	1,06
Área 1	1	100-110	1,07
Área 1	1	110-120	1,09
Área 1	2	0-5	1,27
Área 1	2	5-10	1,27
Área 1	2	10-20	1,25
Área 1	2	20-30	1,23
Área 1	2	30-40	1,14
Área 1	2	40-50	1,09
Área 1	2	50-60	1,07
Área 1	2	60-70	1,03
Área 1	2	70-80	1,04
Área 1	2	80-90	1,01
Área 1	2	90-100	1,03
Área 1	2	100-110	1,02
Área 1	2	110-120	1,05
Área 1	3	0-5	1,23
Área 1	3	5-10	1,21
Área 1	3	10-20	1,19
Área 1	3	20-30	1,16
Área 1	3	30-40	1,17
Área 1	3	40-50	1,15
Área 1	3	50-60	1,12
Área 1	3	60-70	1,09
Área 1	3	70-80	1,05
Área 1	3	80-90	1,03
Área 1	3	90-100	1,00
Área 1	3	100-110	1,00
Área 1	3	110-120	1,00

Parcela	Repetição	Profundidade	Densidade
		cm	Mg m <sup>-3</sup>
Área 1	4	0-5	1,31
Área 1	4	5-10	1,25
Área 1	4	10-20	1,25
Área 1	4	20-30	1,25
Área 1	4	30-40	1,23
Área 1	4	40-50	1,11
Área 1	4	50-60	1,02
Área 1	4	60-70	1,02
Área 1	4	70-80	1,00
Área 1	4	80-90	1,00
Área 1	4	90-100	0,98
Área 1	4	100-110	1,02
Área 1	4	110-120	1,01
Área 2	1	0-5	1,32
Área 2	1	5-10	1,29
Área 2	1	10-20	1,30
Área 2	1	20-30	1,35
Área 2	1	30-40	1,23
Área 2	1	40-50	1,12
Área 2	1	50-60	1,10
Área 2	1	60-70	1,08
Área 2	1	70-80	1,08
Área 2	1	80-90	1,08
Área 2	1	90-100	1,11
Área 2	1	100-110	1,06
Área 2	1	110-120	1,06
Área 2	2	0-5	1,12
Área 2	2	5-10	1,27
Área 2	2	10-20	1,25
Área 2	2	20-30	1,24
Área 2	2	30-40	1,19
Área 2	2	40-50	1,06
Área 2	2	50-60	1,16
Área 2	2	60-70	1,08
Área 2	2	70-80	1,06
Área 2	2	80-90	1,05
Área 2	2	90-100	1,05
Área 2	2	100-110	1,05
Área 2	2	110-120	1,05

Parcela	Repetição	Profundidade	Densidade
		cm	Mg m <sup>-3</sup>
Área 2	3	0-5	1,32
Área 2	3	5-10	1,29
Área 2	3	10-20	1,28
Área 2	3	20-30	1,23
Área 2	3	30-40	1,21
Área 2	3	40-50	1,15
Área 2	3	50-60	1,08
Área 2	3	60-70	1,09
Área 2	3	70-80	1,06
Área 2	3	80-90	1,09
Área 2	3	90-100	1,14
Área 2	3	100-110	1,03
Área 2	3	110-120	1,04
Área 2	4	0-5	1,34
Área 2	4	5-10	1,38
Área 2	4	10-20	1,33
Área 2	4	20-30	1,34
Área 2	4	30-40	1,25
Área 2	4	40-50	1,20
Área 2	4	50-60	1,12
Área 2	4	60-70	1,09
Área 2	4	70-80	1,06
Área 2	4	80-90	1,06
Área 2	4	90-100	1,01
Área 2	4	100-110	0,98
Área 2	4	110-120	1,00
Área 3	1	0-5	1,14
Área 3	1	5-10	1,23
Área 3	1	10-20	1,21
Área 3	1	20-30	1,32
Área 3	1	30-40	1,28
Área 3	1	40-50	1,21
Área 3	1	50-60	1,15
Área 3	1	60-70	1,09
Área 3	1	70-80	1,10
Área 3	1	80-90	1,07
Área 3	1	90-100	1,09
Área 3	1	100-110	1,06
Área 3	1	110-120	1,04

Parcela	Repetição	Profundidade	Densidade
		cm	Mg m <sup>-3</sup>
Área 3	2	0-5	1,37
Área 3	2	5-10	1,33
Área 3	2	10-20	1,31
Área 3	2	20-30	1,37
Área 3	2	30-40	1,31
Área 3	2	40-50	1,30
Área 3	2	50-60	1,20
Área 3	2	60-70	1,14
Área 3	2	70-80	1,10
Área 3	2	80-90	1,10
Área 3	2	90-100	1,06
Área 3	2	100-110	1,07
Área 3	2	110-120	1,09
Área 3	3	0-5	1,24
Área 3	3	5-10	1,35
Área 3	3	10-20	1,42
Área 3	3	20-30	1,26
Área 3	3	30-40	1,27
Área 3	3	40-50	1,21
Área 3	3	50-60	1,17
Área 3	3	60-70	1,11
Área 3	3	70-80	1,07
Área 3	3	80-90	1,00
Área 3	3	90-100	0,98
Área 3	3	100-110	1,05
Área 3	3	110-120	1,04
Área 3	4	0-5	1,25
Área 3	4	5-10	1,33
Área 3	4	10-20	1,21
Área 3	4	20-30	1,27
Área 3	4	30-40	1,16
Área 3	4	40-50	1,13
Área 3	4	50-60	1,18
Área 3	4	60-70	1,04
Área 3	4	70-80	1,02
Área 3	4	80-90	1,04
Área 3	4	90-100	1,01
Área 3	4	100-110	1,01
Área 3	4	110-120	1,06

Parcela	Repetição	Profundidade	Densidade
		cm	Mg m <sup>-3</sup>
Área 4	1	0-5	1,18
Área 4	1	5-10	1,24
Área 4	1	10-20	1,35
Área 4	1	20-30	1,28
Área 4	1	30-40	1,25
Área 4	1	40-50	1,18
Área 4	1	50-60	1,15
Área 4	1	60-70	1,09
Área 4	1	70-80	1,09
Área 4	1	80-90	1,08
Área 4	1	90-100	1,07
Área 4	1	100-110	1,07
Área 4	1	110-120	1,09
Área 4	2	0-5	1,42
Área 4	2	5-10	1,33
Área 4	2	10-20	1,37
Área 4	2	20-30	1,35
Área 4	2	30-40	1,28
Área 4	2	40-50	1,21
Área 4	2	50-60	1,17
Área 4	2	60-70	1,16
Área 4	2	70-80	1,09
Área 4	2	80-90	1,11
Área 4	2	90-100	1,09
Área 4	2	100-110	1,09
Área 4	2	110-120	1,00
Área 4	3	0-5	1,39
Área 4	3	5-10	1,43
Área 4	3	10-20	1,41
Área 4	3	20-30	1,44
Área 4	3	30-40	1,39
Área 4	3	40-50	1,40
Área 4	3	50-60	1,26
Área 4	3	60-70	1,22
Área 4	3	70-80	1,18
Área 4	3	80-90	1,12
Área 4	3	90-100	1,12
Área 4	3	100-110	1,06
Área 4	3	110-120	1,14

Parcela	Repetição	Profundidade	Densidade
		cm	Mg m <sup>-3</sup>
Área 4	4	0-5	1,31
Área 4	4	5-10	1,36
Área 4	4	10-20	1,32
Área 4	4	20-30	1,35
Área 4	4	30-40	1,29
Área 4	4	40-50	1,16
Área 4	4	50-60	1,15
Área 4	4	60-70	1,07
Área 4	4	70-80	1,07
Área 4	4	80-90	1,05
Área 4	4	90-100	1,09
Área 4	4	100-110	1,02
Área 4	4	110-120	1,03
Área 5	1	0-5	1,29
Área 5	1	5-10	1,40
Área 5	1	10-20	1,36
Área 5	1	20-30	1,39
Área 5	1	30-40	1,25
Área 5	1	40-50	1,14
Área 5	1	50-60	1,10
Área 5	1	60-70	1,06
Área 5	1	70-80	1,03
Área 5	1	80-90	1,01
Área 5	1	90-100	0,99
Área 5	1	100-110	0,98
Área 5	1	110-120	1,00
Área 5	2	0-5	1,34
Área 5	2	5-10	1,34
Área 5	2	10-20	1,37
Área 5	2	20-30	1,43
Área 5	2	30-40	1,33
Área 5	2	40-50	1,26
Área 5	2	50-60	1,20
Área 5	2	60-70	1,18
Área 5	2	70-80	1,14
Área 5	2	80-90	1,12
Área 5	2	90-100	1,18
Área 5	2	100-110	1,14
Área 5	2	110-120	1,17

Parcela	Repetição	Profundidade	Densidade
		cm	Mg m <sup>-3</sup>
Área 5	3	0-5	1,38
Área 5	3	5-10	1,33
Área 5	3	10-20	1,29
Área 5	3	20-30	1,29
Área 5	3	30-40	1,23
Área 5	3	40-50	1,15
Área 5	3	50-60	1,09
Área 5	3	60-70	1,07
Área 5	3	70-80	1,07
Área 5	3	80-90	1,03
Área 5	3	90-100	1,01
Área 5	3	100-110	1,04
Área 5	3	110-120	1,03
Área 5	4	0-5	1,28
Área 5	4	5-10	1,32
Área 5	4	10-20	1,32
Área 5	4	20-30	1,32
Área 5	4	30-40	1,23
Área 5	4	40-50	1,17
Área 5	4	50-60	1,13
Área 5	4	60-70	1,10
Área 5	4	70-80	1,05
Área 5	4	80-90	1,06
Área 5	4	90-100	1,04
Área 5	4	100-110	1,05
Área 5	4	110-120	1,06
Área 6	1	0-5	1,35
Área 6	1	5-10	1,28
Área 6	1	10-20	1,31
Área 6	1	20-30	1,33
Área 6	1	30-40	1,25
Área 6	1	40-50	1,22
Área 6	1	50-60	1,16
Área 6	1	60-70	1,08
Área 6	1	70-80	1,09
Área 6	1	80-90	1,08
Área 6	1	90-100	1,09
Área 6	1	100-110	1,07
Área 6	1	110-120	1,07

Parcela	Repetição	Profundidade	Densidade
		cm	Mg m <sup>-3</sup>
Área 6	2	0-5	1,24
Área 6	2	5-10	1,30
Área 6	2	10-20	1,45
Área 6	2	20-30	1,45
Área 6	2	30-40	1,12
Área 6	2	40-50	1,17
Área 6	2	50-60	1,08
Área 6	2	60-70	1,04
Área 6	2	70-80	1,04
Área 6	2	80-90	0,99
Área 6	2	90-100	0,99
Área 6	2	100-110	0,96
Área 6	2	110-120	0,89
Área 6	3	0-5	1,38
Área 6	3	5-10	1,26
Área 6	3	10-20	1,27
Área 6	3	20-30	1,23
Área 6	3	30-40	1,22
Área 6	3	40-50	1,08
Área 6	3	50-60	1,15
Área 6	3	60-70	1,15
Área 6	3	70-80	1,12
Área 6	3	80-90	1,09
Área 6	3	90-100	1,09
Área 6	3	100-110	1,09
Área 6	3	110-120	1,09
Área 6	4	0-5	1,27
Área 6	4	5-10	1,36
Área 6	4	10-20	1,38
Área 6	4	20-30	1,32
Área 6	4	30-40	1,36
Área 6	4	40-50	1,28
Área 6	4	50-60	1,22
Área 6	4	60-70	1,20
Área 6	4	70-80	1,23
Área 6	4	80-90	1,09
Área 6	4	90-100	1,04
Área 6	4	100-110	0,97
Área 6	4	110-120	1,00



Parcela	Repetição	Profundidade	Densidade
		cm	Mg m <sup>-3</sup>
Cerradão	1	0-5	0,92
Cerradão	1	5-10	1,01
Cerradão	1	10-20	1,00
Cerradão	1	20-30	0,99
Cerradão	1	30-40	1,06
Cerradão	1	40-50	1,07
Cerradão	1	50-60	1,05
Cerradão	1	60-70	1,08
Cerradão	1	70-80	1,04
Cerradão	1	80-90	1,00
Cerradão	1	90-100	1,05
Cerradão	1	100-110	1,04
Cerradão	1	110-120	1,02
Cerradão	2	0-5	0,84
Cerradão	2	5-10	1,02
Cerradão	2	10-20	1,09
Cerradão	2	20-30	1,08
Cerradão	2	30-40	1,07
Cerradão	2	40-50	1,08
Cerradão	2	50-60	1,10
Cerradão	2	60-70	1,05
Cerradão	2	70-80	1,02
Cerradão	2	80-90	1,01
Cerradão	2	90-100	1,02
Cerradão	2	100-110	1,04
Cerradão	2	110-120	1,04
Cerradão	3	0-5	0,87
Cerradão	3	5-10	0,99
Cerradão	3	10-20	1,09
Cerradão	3	20-30	1,10
Cerradão	3	30-40	1,06
Cerradão	3	40-50	1,03
Cerradão	3	50-60	1,07
Cerradão	3	60-70	1,04
Cerradão	3	70-80	1,01
Cerradão	3	80-90	1,02
Cerradão	3	90-100	1,03
Cerradão	3	100-110	1,05
Cerradão	3	110-120	1,02

Parcela	Repetição	Profundidade	Densidade
		cm	Mg m <sup>-3</sup>
Cerradão	4	0-5	0,82
Cerradão	4	5-10	0,94
Cerradão	4	10-20	1,01
Cerradão	4	20-30	1,05
Cerradão	4	30-40	1,05
Cerradão	4	40-50	1,05
Cerradão	4	50-60	1,02
Cerradão	4	60-70	1,05
Cerradão	4	70-80	1,01
Cerradão	4	80-90	1,02
Cerradão	4	90-100	1,03
Cerradão	4	100-110	1,01
Cerradão	4	110-120	1,00
Pastagem Contínua	1	0-5	1,26
Pastagem Contínua	1	5-10	1,33
Pastagem Contínua	1	10-20	1,31
Pastagem Contínua	1	20-30	1,27
Pastagem Contínua	1	30-40	1,15
Pastagem Contínua	1	40-50	1,12
Pastagem Contínua	1	50-60	1,09
Pastagem Contínua	1	60-70	1,12
Pastagem Contínua	1	70-80	1,11
Pastagem Contínua	1	80-90	1,09
Pastagem Contínua	1	90-100	1,07
Pastagem Contínua	1	100-110	1,07
Pastagem Contínua	1	110-120	1,07
Pastagem Contínua	2	0-5	1,24
Pastagem Contínua	2	5-10	1,30
Pastagem Contínua	2	10-20	1,31
Pastagem Contínua	2	20-30	1,16
Pastagem Contínua	2	30-40	1,13
Pastagem Contínua	2	40-50	1,08
Pastagem Contínua	2	50-60	1,07
Pastagem Contínua	2	60-70	1,05
Pastagem Contínua	2	70-80	1,06
Pastagem Contínua	2	80-90	1,05
Pastagem Contínua	2	90-100	1,05
Pastagem Contínua	2	100-110	1,07
Pastagem Contínua	2	110-120	1,08

Parcela	Repetição	Profundidade	Densidade
		cm	Mg m <sup>-3</sup>
Pastagem Contínua	3	0-5	1,28
Pastagem Contínua	3	5-10	1,23
Pastagem Contínua	3	10-20	1,30
Pastagem Contínua	3	20-30	1,24
Pastagem Contínua	3	30-40	1,16
Pastagem Contínua	3	40-50	1,09
Pastagem Contínua	3	50-60	1,03
Pastagem Contínua	3	60-70	1,02
Pastagem Contínua	3	70-80	1,06
Pastagem Contínua	3	80-90	1,02
Pastagem Contínua	3	90-100	1,02
Pastagem Contínua	3	100-110	1,03
Pastagem Contínua	3	110-120	1,03
Pastagem Contínua	4	0-5	1,33
Pastagem Contínua	4	5-10	1,30
Pastagem Contínua	4	10-20	1,27
Pastagem Contínua	4	20-30	1,25
Pastagem Contínua	4	30-40	1,19
Pastagem Contínua	4	40-50	1,13
Pastagem Contínua	4	50-60	1,09
Pastagem Contínua	4	60-70	1,04
Pastagem Contínua	4	70-80	1,03
Pastagem Contínua	4	80-90	1,07
Pastagem Contínua	4	90-100	1,03
Pastagem Contínua	4	100-110	1,01
Pastagem Contínua	4	110-120	1,03

### 8.3. Dados brutos de Nitrogênio, Carbono, C/N e $\delta^{13}\text{C}$ Carbono utilizados nesse estudo.

Parcela	Repetição	Profundidade	Nitrogênio	Carbono	Carbono	C/N
		cm	%	%	$\delta^{13}\text{C}$	
Área 1	1	0-5	0,20	2,68	-16,20	14
Área 1	1	5-10	0,19	2,51	-16,56	13
Área 1	1	10-20	0,14	1,92	-17,64	14
Área 1	1	20-30	0,12	1,70	-18,37	14
Área 1	1	30-40	0,10	1,55	-17,58	16
Área 1	1	40-60	0,07	1,27	-17,00	18
Área 1	1	60-80	0,06	1,04	-16,26	19
Área 1	1	80-100	0,05	0,99	-16,62	19
Área 1	2	0-5	0,17	2,58	-15,65	15
Área 1	2	5-10	0,16	2,10	-17,02	13
Área 1	2	10-20	0,14	1,96	-18,35	14
Área 1	2	20-30	0,11	1,56	-18,25	14
Área 1	2	30-40	0,09	1,38	-17,40	15
Área 1	2	40-60	0,07	1,05	-15,88	16
Área 1	2	60-80	0,06	0,97	-15,51	17
Área 1	2	80-100	0,04	0,81	-15,35	18
Área 1	3	0-5	0,18	2,51	-16,91	14
Área 1	3	5-10	0,17	2,37	-17,30	14
Área 1	3	10-20	0,12	1,69	-19,04	14
Área 1	3	20-30	0,11	1,57	-18,09	14
Área 1	3	30-40	0,08	1,25	-16,70	15
Área 1	3	40-60	0,06	0,96	-15,04	16
Área 1	3	60-80	0,05	0,83	-14,15	17
Área 1	3	80-100	0,04	0,75	-14,12	18
Área 1	4	0-5	0,20	2,73	-17,40	14
Área 1	4	5-10	0,17	2,41	-18,62	14
Área 1	4	10-20	0,15	2,07	-19,69	14
Área 1	4	20-30	0,12	1,68	-19,53	14
Área 1	4	30-40	0,11	1,61	-18,31	15
Área 1	4	40-60	0,07	1,16	-16,07	16
Área 1	4	60-80	0,06	0,98	-14,92	17
Área 1	4	80-100	0,05	0,85	-14,80	17
Área 2	1	0-5	0,18	2,53	-15,32	14
Área 2	1	5-10	0,15	1,96	-16,52	13
Área 2	1	10-20	0,13	1,66	-17,64	13
Área 2	1	20-30	0,12	1,57	-17,82	13
Área 2	1	30-40	0,10	1,41	-17,33	14
Área 2	1	40-60	0,07	1,10	-15,83	15
Área 2	1	60-80	0,05	0,80	-15,39	16
Área 2	1	80-100	0,04	0,69	-14,18	17

Parcela	Repetição	Profundidade	Nitrogênio	Carbono	Carbono	C/N
		cm	%	%	$\delta^{13}\text{C}$	
Área 2	2	0-5	0,20	2,56	-15,83	13
Área 2	2	5-10	0,17	2,15	-17,00	13
Área 2	2	10-20	0,13	1,70	-18,21	13
Área 2	2	20-30	0,13	1,75	-18,08	13
Área 2	2	30-40	0,09	1,27	-17,28	14
Área 2	2	40-60	0,06	0,92	-14,84	15
Área 2	2	60-80	0,04	0,65	-14,02	17
Área 2	2	80-100	0,04	0,68	-13,60	17
Área 2	3	0-5	0,20	2,94	-15,39	14
Área 2	3	5-10	0,16	2,06	-17,55	13
Área 2	3	10-20	0,12	1,77	-19,59	14
Área 2	3	20-30	0,12	1,68	-18,79	14
Área 2	3	30-40	0,08	1,24	-16,86	15
Área 2	3	40-60	0,05	0,85	-14,55	16
Área 2	3	60-80	0,05	0,77	-13,84	16
Área 2	3	80-100	0,04	0,67	-13,81	17
Área 2	4	0-5	0,17	2,46	-15,29	14
Área 2	4	5-10	0,15	2,01	-16,35	14
Área 2	4	10-20	0,12	1,73	-17,47	15
Área 2	4	20-30	0,12	1,59	-17,13	14
Área 2	4	30-40	0,09	1,32	-16,72	14
Área 2	4	40-60	0,06	0,93	-14,81	15
Área 2	4	60-80	0,05	0,74	-14,07	16
Área 2	4	80-100	0,04	0,70	-13,88	16
Área 3	1	0-5	0,19	2,37	-17,53	13
Área 3	1	5-10	0,16	2,08	-18,31	13
Área 3	1	10-20	0,15	1,94	-19,39	13
Área 3	1	20-30	0,12	1,65	-19,37	13
Área 3	1	30-40	0,10	1,39	-19,09	14
Área 3	1	40-60	0,08	1,15	-17,22	14
Área 3	1	60-80	0,06	0,90	-15,65	15
Área 3	1	80-100	0,05	0,80	-14,96	16
Área 3	2	0-5	0,19	2,37	-16,21	13
Área 3	2	5-10	0,13	1,63	-17,37	13
Área 3	2	10-20	0,12	1,59	-18,39	13
Área 3	2	20-30	0,08	1,04	-17,30	14
Área 3	2	30-40	0,08	1,12	-16,53	14
Área 3	2	40-60	0,05	0,77	-15,05	15
Área 3	2	60-80	0,04	0,61	-14,25	16
Área 3	2	80-100	0,04	0,57	-14,52	16

Parcela	Repetição	Profundidade	Nitrogênio	Carbono	Carbono	C/N
		cm	%	%	$\delta^{13}\text{C}$	
Área 3	3	0-5	0,17	2,28	-16,46	13
Área 3	3	5-10	0,13	1,70	-17,85	13
Área 3	3	10-20	0,10	1,41	-20,25	14
Área 3	3	20-30	0,08	1,16	-19,16	15
Área 3	3	30-40	0,08	1,19	-17,93	15
Área 3	3	40-60	0,05	0,76	-16,96	15
Área 3	3	60-80	0,05	0,70	-14,53	15
Área 3	3	80-100	0,04	0,65	-14,27	16
Área 3	4	0-5	0,21	2,66	-16,35	13
Área 3	4	5-10	0,13	1,75	-20,70	13
Área 3	4	10-20	0,10	1,44	-19,02	14
Área 3	4	20-30	0,09	1,26	-19,10	14
Área 3	4	30-40	0,10	1,45	-18,40	15
Área 3	4	40-60	0,05	0,83	-15,39	15
Área 3	4	60-80	0,05	0,81	-14,56	16
Área 3	4	80-100	0,04	0,72	-14,17	17
Área 4	1	0-5	0,20	2,59	-16,14	13
Área 4	1	5-10	0,15	1,91	-18,30	13
Área 4	1	10-20	0,13	1,77	-19,38	13
Área 4	1	20-30	0,11	1,42	-19,08	13
Área 4	1	30-40	0,09	1,30	-17,06	14
Área 4	1	40-60	0,06	0,87	-14,42	15
Área 4	1	60-80	0,05	0,73	-13,32	16
Área 4	1	80-100	0,04	0,66	-14,09	17
Área 4	2	0-5	0,19	2,47	-16,59	13
Área 4	2	5-10	0,12	1,62	-18,01	13
Área 4	2	10-20	0,12	1,36	-36,68	11
Área 4	2	20-30	0,10	1,43	-19,13	14
Área 4	2	30-40	0,08	1,19	-17,28	15
Área 4	2	40-60	0,06	0,87	-15,27	15
Área 4	2	60-80	0,05	0,75	-14,87	16
Área 4	2	80-100	0,04	0,71	-15,18	16
Área 4	3	0-5	0,18	2,35	-19,06	13
Área 4	3	5-10	0,13	-	-	-
Área 4	3	10-20	0,10	1,41	-19,64	14
Área 4	3	20-30	0,08	1,13	-19,82	14
Área 4	3	30-40	0,09	1,19	-18,07	14
Área 4	3	40-60	0,06	0,83	-15,77	15
Área 4	3	60-80	0,05	0,73	-15,52	15
Área 4	3	80-100	0,04	0,65	-15,76	15

Parcela	Repetição	Profundidade	Nitrogênio	Carbono	Carbono	C/N
		cm	%	%	$\delta^{13}\text{C}$	
Área 4	4	0-5	0,18	2,36	-15,89	13
Área 4	4	5-10	0,12	1,67	-17,62	13
Área 4	4	10-20	0,12	1,67	-18,88	14
Área 4	4	20-30	0,08	1,14	-17,92	14
Área 4	4	30-40	0,08	1,15	-17,54	14
Área 4	4	40-60	0,05	0,75	-15,73	15
Área 4	4	60-80	0,04	0,65	-14,39	15
Área 4	4	80-100	0,04	0,62	-14,09	16
Área 5	1	0-5	0,22	2,71	-17,92	12
Área 5	1	5-10	0,12	1,61	-18,97	13
Área 5	1	10-20	0,12	1,64	-20,22	14
Área 5	1	20-30	0,09	1,30	-20,38	14
Área 5	1	30-40	0,09	1,32	-18,56	14
Área 5	1	40-60	0,06	0,95	-16,25	15
Área 5	1	60-80	0,05	0,77	-15,18	15
Área 5	1	80-100	0,04	0,68	-14,56	16
Área 5	2	0-5	0,21	2,56	-18,51	12
Área 5	2	5-10	0,13	1,66	-19,04	13
Área 5	2	10-20	0,13	1,65	-19,40	13
Área 5	2	20-30	0,08	1,14	-19,07	13
Área 5	2	30-40	0,07	1,03	-17,14	15
Área 5	2	40-60	0,05	0,78	-15,26	15
Área 5	2	60-80	0,04	0,70	-14,93	16
Área 5	2	80-100	0,04	0,61	-14,88	17
Área 5	3	0-5	0,17	2,13	-16,54	13
Área 5	3	5-10	0,11	1,40	-17,93	13
Área 5	3	10-20	0,10	1,36	-20,06	13
Área 5	3	20-30	0,07	1,03	-17,31	15
Área 5	3	30-40	0,09	1,29	-18,70	14
Área 5	3	40-60	0,06	0,90	-15,83	15
Área 5	3	60-80	0,05	0,79	-15,36	16
Área 5	3	80-100	0,04	0,66	-14,88	17
Área 5	4	0-5	0,19	2,24	-17,60	12
Área 5	4	5-10	0,13	1,73	-18,74	13
Área 5	4	10-20	0,10	1,35	-19,98	13
Área 5	4	20-30	0,09	1,21	-20,00	13
Área 5	4	30-40	0,09	1,26	-18,62	14
Área 5	4	40-60	0,06	0,93	-15,96	15
Área 5	4	60-80	0,05	0,80	-15,57	16
Área 5	4	80-100	0,04	0,65	-14,92	16

Parcela	Repetição	Profundidade	Nitrogênio	Carbono	Carbono	C/N
		cm	%	%	$\delta^{13}\text{C}$	
Área 6	1	0-5	0,20	2,69	-15,36	14
Área 6	1	5-10	0,12	1,57	-18,56	13
Área 6	1	10-20	0,11	1,52	-19,18	14
Área 6	1	20-30	0,08	1,12	-19,43	14
Área 6	1	30-40	0,11	1,48	-19,75	14
Área 6	1	40-60	0,07	0,99	-17,68	15
Área 6	1	60-80	0,06	0,87	-16,19	16
Área 6	1	80-100	0,04	0,72	-15,74	16
Área 6	2	0-5	0,16	2,22	-15,89	14
Área 6	2	5-10	0,13	1,87	-18,30	14
Área 6	2	10-20	0,11	1,60	-19,89	14
Área 6	2	20-30	0,07	1,08	-19,46	15
Área 6	2	30-40	0,07	1,05	-17,34	15
Área 6	2	40-60	0,05	0,94	-16,10	19
Área 6	2	60-80	0,06	0,90	-19,89	16
Área 6	2	80-100	0,05	0,70	-26,52	14
Área 6	3	0-5	0,18	2,36	-16,09	13
Área 6	3	5-10	0,12	1,63	-18,39	14
Área 6	3	10-20	0,12	1,77	-19,16	15
Área 6	3	20-30	0,09	1,37	-20,02	15
Área 6	3	30-40	0,07	1,04	-16,83	15
Área 6	3	40-60	0,04	0,68	-15,97	17
Área 6	3	60-80	0,05	0,72	-14,80	15
Área 6	3	80-100	0,04	-	-	-
Área 6	4	0-5	0,22	3,15	-15,62	14
Área 6	4	5-10	0,13	1,72	-18,37	14
Área 6	4	10-20	0,15	2,01	-19,61	14
Área 6	4	20-30	0,10	1,40	-19,91	14
Área 6	4	30-40	0,08	1,19	-17,86	14
Área 6	4	40-60	0,06	0,85	-15,94	14
Área 6	4	60-80	0,05	0,73	-15,52	15
Área 6	4	80-100	0,04	0,66	-14,99	16
Cerradão	1	0-5	0,21	2,71	-24,22	13
Cerradão	1	5-10	0,17	2,30	-23,71	14
Cerradão	1	10-20	0,17	2,21	-23,58	13
Cerradão	1	20-30	0,11	1,45	-22,54	13
Cerradão	1	30-40	0,12	1,55	-21,31	13
Cerradão	1	40-60	0,08	1,16	-19,10	14
Cerradão	1	60-80	0,07	1,07	-18,54	15
Cerradão	1	80-100	0,37	5,18	-13,33	14



Parcela	Repetição	Profundidade	Nitrogênio	Carbono	Carbono	C/N
		cm	%	%	$\delta^{13}\text{C}$	
Cerradão	2	0-5	0,21	2,66	-24,13	13
Cerradão	2	5-10	0,15	1,86	-23,62	12
Cerradão	2	10-20	0,17	2,16	-23,37	13
Cerradão	2	20-30	0,11	1,42	-22,56	13
Cerradão	2	30-40	0,10	1,45	-21,19	14
Cerradão	2	40-60	0,08	1,18	-18,80	15
Cerradão	2	60-80	0,06	0,93	-17,35	16
Cerradão	2	80-100	0,06	0,95	-18,27	17
Cerradão	3	0-5	0,22	3,04	-24,13	14
Cerradão	3	5-10	0,13	1,74	-23,54	14
Cerradão	3	10-20	0,17	2,41	-23,83	14
Cerradão	3	20-30	0,14	2,12	-22,76	15
Cerradão	3	30-40	0,10	1,46	-20,92	14
Cerradão	3	40-60	0,08	1,16	-18,79	15
Cerradão	3	60-80	0,06	0,90	-16,95	15
Cerradão	3	80-100	0,05	0,78	-15,93	15
Cerradão	4	0-5	0,27	3,85	-24,24	14
Cerradão	4	5-10	0,22	3,25	-23,72	15
Cerradão	4	10-20	0,17	2,56	-23,75	15
Cerradão	4	20-30	0,11	1,69	-22,87	15
Cerradão	4	30-40	0,09	1,33	-20,84	15
Cerradão	4	40-60	0,07	1,08	-18,61	15
Cerradão	4	60-80	0,06	0,88	-17,12	16
Cerradão	4	80-100	0,04	0,71	-17,14	17
Past. Cont.	1	0-5	0,13	2,07	-15,15	16
Past. Cont.	1	5-10	0,16	2,55	-15,54	16
Past. Cont.	1	10-20	0,10	1,69	-16,69	16
Past. Cont.	1	20-30	0,10	1,61	-16,76	16
Past. Cont.	1	30-40	0,08	1,36	-17,49	16
Past. Cont.	1	40-60	0,06	1,07	-16,32	17
Past. Cont.	1	60-80	0,05	0,90	-15,71	17
Past. Cont.	1	80-100	0,05	0,80	-15,72	18
Past. Cont.	2	0-5	0,12	1,88	-16,04	15
Past. Cont.	2	5-10	0,13	2,13	-16,05	16
Past. Cont.	2	10-20	0,11	1,77	-17,49	17
Past. Cont.	2	20-30	0,09	1,50	-17,81	16
Past. Cont.	2	30-40	0,07	1,25	-17,46	17
Past. Cont.	2	40-60	0,06	1,14	-16,85	18
Past. Cont.	2	60-80	0,06	1,05	-16,30	18
Past. Cont.	2	80-100	0,05	0,93	-16,10	18

Parcela	Repetição	Profundidade	Nitrogênio	Carbono	Carbono	C/N
		cm	%	%	$\delta^{13}\text{C}$	
Past. Cont.	3	0-5	0,12	2,02	-16,79	16
Past. Cont.	3	5-10	0,13	2,01	-16,73	16
Past. Cont.	3	10-20	0,10	1,83	-18,58	18
Past. Cont.	3	20-30	0,07	1,15	-18,87	17
Past. Cont.	3	30-40	0,07	1,19	-17,21	17
Past. Cont.	3	40-60	0,06	1,04	-16,80	17
Past. Cont.	3	60-80	0,05	0,93	-16,87	18
Past. Cont.	3	80-100	0,05	0,85	-16,60	18
Past. Cont.	4	0-5	0,16	2,40	-17,24	15
Past. Cont.	4	5-10	0,16	2,54	-16,85	16
Past. Cont.	4	10-20	0,15	2,40	-17,33	16
Past. Cont.	4	20-30	0,10	1,62	-21,31	16
Past. Cont.	4	30-40	0,08	1,28	-17,20	17
Past. Cont.	4	40-60	0,06	1,04	-16,79	17
Past. Cont.	4	60-80	0,06	1,02	-16,94	17
Past. Cont.	4	80-100	0,04	0,80	-16,40	18