

UFRRJ

**INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

DISSERTAÇÃO

**Dinâmica de Matéria Orgânica do Solo e Eficiência
Energética de Sistemas Agropecuários de Produção
em Latossolo Vermelho de Cerrado**

Jerusa Maia e Sá

2011



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

**DINÂMICA DE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO E EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA EM LATOSSOLO VERMELHO DO CERRADO**

JERUSA MAIA E SÁ

Sob a Orientação do Professor
Dr. Segundo Sacramento Urquiaga Caballero

e Co-orientadora
Dra. Cláudia Pozzi Jantalia

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, Área de Concentração em Produção Vegetal.

Seropédica, RJ
Novembro de 2011

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

JERUSA MAIA E SÁ

Dissertação submetida ao Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, área de Concentração Produção Vegetal, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 30/11/2011

Segundo Sacramento Urquiaga Caballero.
Ph.D. Embrapa Agrobiologia.
(Orientador)

Adelson Paula de Araújo. Ph.D. UFRRJ.

David Vilas Boas de Campos. Dr. Embrapa Solos.

631.58981

S111d

T

Sá, Jerusa Maia e, 1984-

Dinâmica de matéria orgânica do solo e eficiência energética em Latossolo Vermelho do Cerrado / Jerusa Maia e Sá - 2011.

152 f. : il.

Orientador: Segundo Sacramento Urquiaga Caballero.

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

Bibliografia: f. 86-104.

1. Cultivo consorciado - Cerrado - Teses. 2. Solos - Teor de compostos orgânicos - Teses. 3. Solos - Cerrado - Teses. 4. Cerrado - Teses. I. Urquiaga Caballero, Segundo Sacramento, 1950-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia. III. Título.

DEDICATÓRIA

A Deus, aos meus amados pais Davi e Mercedes, aos meus queridos companheiros irmãos Kellen, Elizângela, Leonardo, Juliana, Rander, Núbia e Angelaine. À minha amada avó Rita. Aos meus sobrinhos, novos amores, Luke Dominic e Sofia Victoria.

“Bom mesmo é ir à luta com determinação,
Abraçar a vida com paixão,
Perder com classe e vencer com ousadia,
Pois o triunfo pertence a quem se atreve.”
Charles Chaplin.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, sabedoria e força para trabalhar. À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pela formação profissional e pessoal. À Embrapa Agrobiologia por possibilitar o desenvolvimento da minha dissertação. Ao meu querido orientador Dr. Segundo Urquiaga, pelo exemplo de profissionalismo, pelos ensinamentos e pelas conversas descontraídas que sempre me ensinaram. À minha co-orientadora Dra. Cláudia Pozzi Jantalia, por toda paciência, ótima companheira de viagem e coletas de campo, pela confiança que depositou ao me acolher na Embrapa Agrobiologia ainda na graduação. Aos meus orientadores indiretos Drs. Robert Michael Boddey e Bruno José Rodrigues Alves, pelas boas idéias e orientação. À minha estimada ex-orientadora Dra. Margarida Goréte Ferreira do Carmo e seu esposo Dr. Aldir de Oliveira Carvalho (*in memoriam*) pela orientação nos primórdios, pelos inúmeros ensinamentos técnicos e pessoais durante minha jornada na UFRRJ. Às antigas companheiras de pesquisa Débora Alves Gonçalves e Mariluci Sudo Martelleto, pela amizade, ensinamentos e paciência quando eu queria “jogar tudo para o ar” quando não conseguia recuperar uma bactéria isolada. Às grandes amigas que consegui e consolidei durante minha estadia na Universidade: Elaine Paiva, Fernando Coutinho, Aline Passos, Helena Pinheiro, Beatriz Antonucci, Talita Matos, Anatoly Queiroz, Glauber, Pablo (Beizola), Raone (Sorriso), Bárbara Zoffoli, Marisa (Fera), Hanny, Lara, Natália (Teck), Paula Cordeline, Natália Zatorre, Rafael Fiusa, Nivaldo Schultz, Rafael Butke, Itaynara Batista, Hugo Zoffoli, Fábio Freitas, Gláucio Genúncio, Marcos Carvalho, Edson Corrêa, Rafael Pachiega e Rafael Faria pelo ombro amigo, conselhos, indicações, ajudas e confiança. Às minhas queridas amigas Renata Costa e Elisamara Caldeira há muito presentes em meu caminho, antes mesmo de vir para a Rural, pelas horas de descontração, trabalho e conselhos pessoais. Aos meus pais Davi e Mercedes, pelos ensinamentos, exemplo, confiança e amor incondicional oferecidos. Aos meus irmãos mais distantes, geograficamente: Kellen, Elizângela, Leonardo e Juliana que, apesar da distância, sempre estiveram à disposição para me ajudar e oferecer aconchego. Aos meus inseparáveis irmãos que tive o privilégio de conviver durante esta caminhada: Rander, Núbia e Angelaine, sempre companheiros, com bons conselhos nas horas difíceis, por sempre poder contar com tudo que podiam me oferecer, obrigada. Aos meus cunhados que atuaram como irmãos nesta jornada: Juliana Porto, Anderson Gustavo, Vinícius Antunes e Kevin Palisi. À minha amada avó Rita de Sá Ribeiro, que apesar das limitações provocadas pelo estado de saúde, tomei como exemplo suas realizações obtidas ao longo de uma caminhada de 95 anos. Aos meus sobrinhos Luke Dominic Maia Palisi e Sofia Victoria Maia Palisi por me

proporcionarem uma enorme felicidade simplesmente por existirem. Aos meus amados primos que muito contribuiu nesta caminhada: Bãozinho, Tovim, Victor, Alexia, Lucas, José Paulo e Paula. Aos meus colegas de trabalho do grupo de Ciclagem de Nutrientes, por todo apoio. Aos meus colegas do Alojamento da Embrapa Agrobiologia pela boa convivência. Aos amigos e professores que tive o prazer de conhecer e conviver durante toda minha formação acadêmica nesta Universidade. Aos funcionários da Embrapa Agrobiologia que permitiram a execução deste trabalho: Altiberto Baeta, Roberto Grégio, Roberto Andrade, Monalisa, Renato Moutinho e Naldo. À pesquisadora Dra. Janaína por toda ajuda nas análises estatísticas. Ao Dr. Luis Henrique de Barros Soares por toda ajuda nos cálculos de balanço energético. Ao Dr. David Villas-Boas, pela ajuda nos primódios, quando as determinações de carbono total iriam ser feitas na Embrapa Solos. Ao CNPq, pela concessão da bolsa de Mestrado e Iniciação Científica. À Embrapa Cerrados, em especial ao Ms. Lourival Vilela e Dr. Robélio Leandro Marchão, por concederem a área de estudo e dados experimentais. Aos funcionários da Embrapa Cerrados: Daniel Junqueira, José Reis, Paulo e Joviano, pela ajuda nas coletas realizadas e obtenção de dados. Além dos nomes supracitados, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a execução deste trabalho, contudo, por conta do limitado espaço disponível não foi possível referir-me a todas as pessoas.

BIOGRAFIA

Jerusa Maia e Sá, nascida em 24 de março de 1984, em Ipatinga, Estado de Minas Gerais, filha de Mercedes Ribeiro de Sá Fonseca e Davi Fonseca Maia. Ingressou na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em maio de 2005 no curso de Agronomia, onde graduou em setembro de 2009. Em 2005, as primeiras atividades científicas foram desenvolvidas como estagiária do Laboratório de Epidemiologia e Patologia de Sementes no Departamento de Fitotecnia, no período de agosto de 2006 a julho de 2008 foi bolsista de iniciação científica do CNPq. Iniciou os estudos em Ciclagem de Nutrientes na Embrapa Agrobiologia em dezembro de 2008 a julho de 2009, onde foi contemplada com uma bolsa de iniciação científica do CNPq. Em julho de 2009 ingressou no Mestrado do curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, concluindo seu trabalho de dissertação de Mestrado na presente data.

RESUMO GERAL

SÁ, Jerusa Maia. **Dinâmica de matéria orgânica do solo e eficiência energética em Latossolo Vermelho do Cerrado**. Seropédica: UFRRJ, 2011. 133 p. (Dissertação, Mestrado em Fitotecnia).

A ocupação do bioma do Cerrado brasileiro foi impulsionada pelo avanço da fronteira agrícola. Pesquisas para a melhoria da baixa fertilidade natural dos solos, juntamente com melhoramento vegetal, resultaram em um crescimento da área cultivada, principalmente após os anos 80 e 90. Manejos conservacionistas do solo como a rotação de culturas com leguminosas de cobertura, integração lavoura-pecuária e sistema de plantio direto podem promover o acúmulo de C e N no perfil do solo e apresentar melhor eficiência no uso dos recursos energéticos não renováveis. Estes são fundamentais para manutenção nos custos de produção e incrementos na produtividade das culturas. Estes sistemas também são promissores para a mitigação na emissão de gases de efeito estufa. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência energética em diferentes sistemas de manejo e uso do solo e suas influências nos estoques de C e N total no perfil do solo de um experimento de longo prazo localizado na Embrapa Cerrados, no município de Planaltina – DF. O solo estudado foi um Latossolo Vermelho, onde em 1991, uma área de Cerrado nativo foi convertida em diferentes sistemas de produção. Os tratamentos avaliados foram: pastagem contínua em monocultivo de gramínea; pastagem contínua de gramínea consorciada com leguminosa; integração lavoura-pecuária, rotação iniciada com pastagem; integração lavoura-pecuária, rotação iniciada com lavoura e lavoura contínua. Na produção de grãos utilizou-se o sistema de plantio direto e o preparo convencional do solo. Os tratamentos pastagem contínua em monocultivo de gramínea e lavoura contínua com preparo convencional do solo apresentaram menor potencialidade em acumular C e N no solo, já os tratamentos integração lavoura pecuária com rotação iniciada com pastagem e preparo convencional do solo, integração lavoura pecuária com rotação iniciada com lavoura e lavoura contínua, sendo essas sob o sistema de plantio direto, mostraram-se mais aptos. Os sistemas de pastagens com braquiária incorporaram 25% e 32% de C derivado dos resíduos no estoque de C total de 0-100 cm em monocultivo e consorcio com leguminosas, respectivamente. O sistema de plantio direto nos sistemas de lavoura contínua e integração lavoura-pecuária permitiu maior preservação do C oriundo da planta C_3 , a redução no revolvimento do solo foi importante para o incremento de C total no perfil do solo. As pastagens contínuas apresentaram maior eficiência energética, enquanto o sistema de lavoura contínua obteve os menores índices. No tratamento da integração lavoura-pecuária, o preparo convencional do solo apresentou conversão energética superior ao sistema de plantio direto. O sistema de plantio direto apresentou melhor eficiência energética na produção de biocombustíveis que o preparo convencional do solo. Todos os sistemas avaliados apresentaram-se sustentáveis no ponto de vista energético. A integração lavoura-pecuária e o sistema de plantio direto podem ser adotados como sistemas conservacionistas no que tange ao acúmulo/manutenção da matéria orgânica do solo, bem como pela maior eficiência energética e produção de biocombustíveis no Cerrado.

Palavras chave: sistema de plantio direto, integração lavoura-pecuária, pastagem consorciada.

GENERAL ABSTRACT

SÁ, Jerusa Maia. **Dynamics of soil organic matter and energy efficiency in the Cerrado Oxisol**. 125f. Dissertation (Master in Agronomy, Plant Science) Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.

The occupation of the Cerrado biome in Brazil has been driven by the expansion of agriculture. Research to improve the low fertility of the soil along with plant breeding, resulted in an increase in cultivated area, especially after the 80 and 90. Management such as conservation tillage, crop rotation with leguminous, crop-livestock and no-tillage system can promote the accumulation of C and N in the soil profile and show better efficiency in the use of non-renewable energy resources. These systems are also promising for mitigate the emission of greenhouse gases. This study aimed to evaluate the energy efficiency of different management systems and land use and its influence on the stocks of C and N in the profile of a long-term experiment located at Embrapa Cerrados, in the city of Planaltina – DF. The studied soil was an Oxisol, where in 1991 an area of native Cerrado was converted into different production systems. The treatments were: continuous grazing grass-only (S1) continuous grazing mixed grass/legume (S2), crop livestock, started with pasture rotation (S3P), crop-livestock, beginning with crop rotation (S3L) and continuous crop (S4). In grain production, we used the no-tillage and conventional tillage. The treatments continuous grazing grass-only and continuous crop with conventional tillage had a lower potential to accumulate C and N in the soil, since the treatments crop-livestock started with pasture rotation and conventional tillage, crop-livestock beginning with crop rotation under no-tillage system and continuous crop with conventional tillage, were more suitable. The systems incorporated brachiaria pastures with of 25% and 32% of C residues derived from the total C stock of 0-100 cm in continuous grazing grass-only and mixed grass-legume, respectively. The no-tillage system in continuous crop and crop-livestock systems allowed greater preservation of C derived from the C3 plants, and reduction in soil disturbance was important for the increase of total C in the soil profile. The continuous grazings showed higher energy efficiency, while the system of continuous crop obtained the lowest indexes. In the treatments of crop-livestock, the conventional tillage had conversion energy than the no-tillage. No-tillage system showed better efficiency in the production of biofuels than conventional tillage. All systems were assessed to be sustainable in terms of energy. The crop-livestock and no-tillage systems can be adopted as conservationists regarding the accumulation/maintenance of soil organic matter, and for greater energy efficiency and biofuel production in the Cerrado.

Key words: no-tillage, crop-livestock integration, pasture.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Croqui da área experimental.	14
Figura 2. Concentração de nitrogênio total (g kg^{-1}) no perfil do solo sob o Cerrado nativo e sob diferentes sistemas de manejo e uso do solo.....	25
Figura 3. Concentração de carbono total (g kg^{-1}) no perfil do solo sob o Cerrado nativo e sob diferentes sistemas de manejo e uso do solo.....	26
Figura 4. Estoque de carbono e nitrogênio no perfil de solo sob Cerrado nativo e sob diferentes sistemas, na profundidade de 0 a 40 cm.	29
Figura 5. Estoque de carbono e nitrogênio no perfil de solo sob Cerrado nativo e nos diferentes sistemas, na profundidade de 0 a 100 cm.	30
Figura 6. Abundância natural de ^{13}C no perfil de solo sob o Cerrado, pastagens contínuas, integração lavoura-pecuária e lavoura contínua em Planaltina – DF.	33

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Culturas exploradas em 20 anos de experimento nos diferentes sistemas avaliados.....	15
Tabela 2. Quantidades de N, P ₂ O ₅ , K ₂ O em kg ha ⁻¹) adicionados pelos fertilizantes na ocasião de reforma das pastagens.....	16
Tabela 3. Conteúdo de areia no perfil do solo (0-80 cm) sob os tratamentos de pastagem, lavoura e sob cerrado. JANTALIA (2005).	16
Tabela 4. Densidade do solo no perfil (0-100 cm) sob os diferentes tratamentos e sob Cerrado.	20
Tabela 5. Parâmetros químicos do solo sob o Cerrado.....	21
Tabela 6. Parâmetros químicos do solo dos sistemas contínuos de produção bovina e de grãos.	22
Tabela 7. Parâmetros químicos do solo dos sistemas de integração lavoura-pecuária..	23
Tabela 8. Abundância natural de ¹³ C e conteúdo de C total do solo (0-100 cm) sob pastagem contínua em monocultivo de gramínea após 20 anos.....	34
Tabela 9. Abundância natural de ¹³ C e conteúdo de C total do solo (0-100 cm) sob pastagem contínua de gramínea consorciada com leguminosa após 20 anos. ...	34
Tabela 10. Abundância natural de ¹³ C, conteúdo de C total no solo e estimativas do C derivado da matéria orgânica da vegetação nativa, da gramínea (C4) e da leguminosa forrageira (C3) (0-60 cm), sob pastagem após 20 anos.	35
Tabela 11. Abundância natural de ¹³ C e conteúdo de C total do solo (0-100 cm) sob integração lavoura-pasto após 20 anos da substituição do Cerrado nativo.	36
Tabela 12. Abundância natural de ¹³ C e conteúdo de C total do solo (0-100 cm) sob integração pasto lavoura após 20 anos da substituição do Cerrado nativo.	37
Tabela 13. Abundância natural de ¹³ C e conteúdo de C total do solo (0-60 cm) sob lavouras sob PD e PC após 20 anos da substituição do Cerrado nativo.....	38
Tabela 14. Culturas exploradas em 20 anos de experimento nos diferentes sistemas avaliados.....	47
Tabela 15. Preço de mercado utilizado na mensuração do dispêndio energético referenciado através da razão entre o Balanço Energético Nacional e o PIB. ...	48
Tabela 16. Ganho de peso animal diário e em 180 dias nos diferentes sistemas de produção bovina avaliados.	49
Tabela 17. Taxa de lotação animal considerada nos cálculos de produtividade nos sistemas de pastagem. Média da taxa de lotação dos anos de 2006/07, 2008/09 e 2010.....	49
Tabela 18. Peso médio de entrada e saída dos animais das áreas de pastagens.	49
Tabela 19. Produtos comerciais, princípio ativo e dose recomendada dos pesticidas utilizados no experimento.	52
Tabela 20. Tratores, rendimentos, consumo de óleo diesel e gasto energético nas diversas operações mecânicas realizadas na área experimental.....	53
Tabela 21. Energia gasta no processo de fabricação dos insumos.	54
Tabela 22. Avaliação da eficiência energética da produção animal em sistemas de pastagem contínua em monocultivo de gramínea (S1) e consorciado com leguminosa (S2) após 20 anos de substituição do Cerrado.	56
Tabela 23. Eficiência energética de sistema de produção contínuo de grãos, sob o sistema de plantio direto (PD) e com preparo convencional do solo (PC) em 20 anos.....	58

Tabela 24. Eficiência energética no sistema integração lavoura-pecuária (ILP), rotação iniciada com pastagem, sob sistema de plantio direto (PD) e preparo convencional do solo (PC).	60
Tabela 25. Eficiência energética no sistema integração lavoura-pecuária (ILP), rotação iniciada com lavoura, sob sistema de plantio direto (PD) e preparo convencional do solo (PC).....	62
Tabela 26. Eficiência energética dos diferentes sistemas de manejo e uso do solo avaliados após 20 anos de desmatamento da vegetação do Cerrado.....	64
Tabela 27. Valores de eficiência energética do biodiesel em sistema de produção de grãos contínuo e integrado em plantio direto (PD) e sob preparo convencional do solo (PC).....	65
Tabela 28. Valores de eficiência energética do bioetanol de milho em sistema de produção de grãos contínuo e integrado em plantio direto (PD) e sob preparo convencional do solo (PC).	66

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. CAPÍTULO I: AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE DIFERENTES SISTEMAS AGRÍCOLAS NO ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO DE UM LATOSSOLO VERMELHO DO CERRADO.	2
3. INTRODUÇÃO	5
3.1. Importância da Preservação da Matéria Orgânica nos Solos	5
3.2. Uso do Sistema de Plantio Direto e Rotação de Culturas Como Forma de Promover Incrementos nos Estoques de Carbono e Nitrogênio do Solo.....	7
3.3. A Integração Lavoura-Pecuária no Cerrado	9
3.4. Uso da Técnica da Abundância Natural de $\delta^{13}\text{C}$ nos Estudos de Ciclagem do Carbono no Solo	11
4. MATERIAL E MÉTODOS	13
4.1. Desenho Experimental e Análise Estatística	13
4.2. Descrição e Caracterização da Área Experimental.....	13
4.3. Amostragem e Preparo das Amostras de Solo.....	17
4.4. Cálculos dos Estoques de Carbono e Nitrogênio no Perfil do Solo	18
4.5. Estimativa da Proporção de Carbono do Solo Derivado da Vegetação Nativa Original.....	18
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5.1. Densidade e Parâmetros Químicos do Solo Sob o Cerrado e Sob os Diferentes Sistemas.....	20
5.2. Distribuição dos Teores de Nitrogênio e Carbono no Perfil do Solo Sob o Cerrado e Demais Sistemas de Manejo e Uso do Solo.....	24
5.3. Estoque de Carbono e Nitrogênio Totais no Solo	28
5.4. Abundância Natural de ^{13}C no Perfil do Solo.....	32
5.5. Estimativa da proporção de carbono da Matéria Orgânica do Solo Derivada da Vegetação Nativa.....	34
6. CONCLUSÕES.....	39
7. CAPÍTULO II: EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS CONTÍNUOS E INTEGRADOS DE PRODUÇÃO DE GRÃOS E ANIMAL EM UMA ÁREA EXPERIMENTAL REPRESENTATIVA DO CERRADO: ESTUDO DE CASO.	40
8. INTRODUÇÃO	43
9. MATERIAL E MÉTODOS	46

10.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
10.1.	Análise da eficiência energética durante o ciclo de vida nos sistemas de produção animais e de grãos contínuos e integrados.....	56
10.2.	Sistemas de produção animal: monocultivo e consorciada	56
10.3.	Sistemas de produção contínuo de grãos	57
10.4.	Sistemas de produção de carne e grãos integrados.....	59
10.5.	Eficiência energética dos biocombustíveis.....	65
11.	CONCLUSÕES.....	68
12.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
13.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
14.	ANEXOS	83

1. INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento populacional e o conseqüente aumento na demanda de alimentos, fibras e bioenergia têm pressionado o setor agrícola brasileiro para expansão da fronteira agrícola e no aumento de produtividade. Esta busca incessante por aumento de produtividade em curto prazo é a causa primária da degradação dos agroecossistemas, principalmente, pela inexistência de uma visão holística da produtividade aliada à sustentabilidade dos sistemas agrícolas (CARVALHO et al., 2007).

O Cerrado ocupa, cerca de 200 Mha de hectares no território brasileiro (PROBIO, 2004) e 117 Mha com potencialidade para mecanização, perfazendo uma das principais regiões do mundo para produção de alimentos e energia para suprir demandas nacionais e internacionais. Na região, aproximadamente 60 Mha estão ocupados por pastagens, no entanto, estima-se que 70% estejam em algum nível de degradação, exibindo baixas produtividades (EMBRAPA, 2006). A área ocupada por lavouras soma 17 Mha, utilizando-se principalmente, práticas de monocultivo apresentando depreciadas produtividades. Este quadro de insustentabilidade das explorações agrícolas tem levado a sérios problemas de ordem econômica, social e ambiental.

Sistemas tradicionais de exploração agrícola, em muitos casos, possuem alto custo energético e desrespeitam o meio ambiente. Os desafios impostos à agricultura consistem na produção de alimentos e matéria-prima em elevada quantidade, qualidade, segurança sanitária e, ainda, auxiliando na mitigação das emissões de gases causadores do efeito estufa. Soma-se a isso a necessidade de atender à essas demandas com o mínimo distúrbio ambiental, associado ao reduzido consumo de defensivos, agentes que demandam grande quantidade de energia fóssil na sua síntese, bem como menor utilização de insumos que apresentam reservas finitas no planeta, como as fontes de fósforo, potássio e derivados do petróleo. A complexidade deste cenário aumenta com a inserção dos fatores sociais.

Atualmente, deve-se buscar alternativas, tais como a integração lavoura-pecuária, que, juntamente com a adoção do sistema de plantio direto e rotação de culturas, viabilizam redução nos custos de produção com possibilidade de, em longo prazo, promover incrementos nos estoques de carbono e nitrogênio no solo, de forma a proporcionar melhor proteção ao meio ambiente, à saúde dos seres vivos e aumento na competitividade, por oferecer alimentos produzidos sob os sistemas de cultivo mais sustentáveis.

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a eficiência energética dos cultivos e a influência de diferentes sistemas de manejo e uso do solo, como o sistema de plantio direto e a integração lavoura-pecuária, sobre os estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) no perfil do solo em um experimento de longo prazo no Cerrado do Brasil central. Para tanto, os seguintes objetivos específicos foram considerados:

- Determinar a influência de diferentes sistemas de manejo de pastagens e lavouras contínuas nos estoques de C e N no solo; avaliar o impacto do sistema de Integração Lavoura-Pecuária no acúmulo de C e N no solo; avaliar a eficiência energética nos diferentes sistemas de produção de grãos e de carne.

A hipótese para este trabalho é que:

Sistemas agrícolas conservacionistas do solo como o sistema plantio direto, pastagens de gramíneas consorciadas com leguminosas e a de integração lavoura-pecuária, promovem acúmulo de C e N no perfil do solo e possuem maior eficiência energética, contribuindo para o aumento da produtividade do sistema.

**2. CAPÍTULO I: AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE DIFERENTES
SISTEMAS AGRÍCOLAS NO ESTOQUE DE CARBONO E
NITROGÊNIO DE UM LATOSSOLO VERMELHO DO CERRADO.**

RESUMO

SÁ, Jerusa Maia e. **Avaliação do impacto de diferentes sistemas agrícolas no estoque de carbono e nitrogênio de um Latossolo Vermelho do Cerrado.**

A qualidade dos solos em ambiente tropical está em função do conteúdo de matéria orgânica do solo, esta possui grande importância na manutenção da produtividade dos sistemas agrícolas ao influenciar diversos atributos do solo, tais como a estabilidade de agregados, infiltração e retenção de água no solo, fertilidade e a atividade biológica. Este capítulo teve como principal objetivo avaliar a influência de diferentes sistemas de manejo e uso do solo sobre os estoques de C e N no perfil (0 a 100 cm) de um Latossolo Vermelho. O experimento está localizado no município de Planaltina-DF, e apresenta 20 anos de condução. Os tratamentos avaliados foram: S1 – pastagem contínua em monocultivo de gramíneas; S2 – pastagem contínua de gramínea consorciada com leguminosa; S3P – integração lavoura-pecuária, rotação iniciada com pastagem; S3L – integração lavoura-pecuária, rotação iniciada com lavoura e S4 – lavoura contínua. No cultivo de grãos houve avaliação do sistema de plantio direto e preparo convencional do solo. Determinou-se ainda o efeito dos distintos sistemas avaliados sobre a manutenção e renovação do C da matéria orgânica do solo. Em relação ao Cerrado, os tratamentos integração lavoura-pecuária com rotação iniciada com pastagem e preparo convencional do solo, integração lavoura-pecuária com rotação iniciada com lavoura sob o sistema de plantio direto e lavoura contínua sob o sistema de plantio direto apresentaram maior potencial em acumular e/ou manter o C e N no solo, enquanto a pastagem contínua com monocultivo de gramínea e a lavoura contínua com preparo convencional do solo mostraram-se menos aptos em adicionar matéria orgânica ao solo. Os sistemas de pastagens com braquiária incorporaram 25% e 32% de C derivado dos resíduos no estoque de C total de 0-100 cm em monocultivo e consórcio com leguminosas, respectivamente. A redução do revolvimento do solo no sistema de plantio direto permitiu maior preservação do C oriundo de plantas C₃ no perfil do solo nos sistemas de lavoura contínua e integração lavoura-pecuária.

Palavras chave: matéria orgânica do solo, sistema de plantio direto, integração lavoura-pecuária.

ABSTRACT

SÁ, Jerusa Maia e. **Assessing the impact of different agricultural systems in the stock of carbon and nitrogen from a Cerrado Oxisol.**

Soil quality in a tropical environment is a function of the content of soil organic matter, this has great importance in maintaining the productivity of agricultural systems by influencing several soil attributes, such as aggregate stability, infiltration and water retention in the soil and fertility and biological activity. This chapter aimed to evaluate the influence of different management systems and land use on the stocks of C and N in the profile (0-100 cm) of an Oxisol. The experiment is located in the municipality of Planaltina-DF, and has 20 years of driving. The treatments were: S1 – continuous grazing grass-only, S2 – continuous grazing mixed grass/legume, S3P - crop livestock, started with pasture rotation, S3L –crop livestock, beginning with crop rotation and S4 – continuous crop. In the cultivation of grain was evaluation of no-tillage and conventional tillage. It was determined also the effect of different systems evaluated on the maintenance and renewal of C of organic matter soil. Regarding the Cerrado, treatments crop-livestock started with pasture rotation with conventional tillage, crop-livestock started with crop rotation under no-tillage system and continuous crop under no-tillage system had greater potential to accumulate and/or maintain C and N in the soil, while the continuous grazing grass-only and continuous crop with conventional tillage were less able to add organic matter to soil. The systems incorporated *Brachiaria* pastures with 25% and 32% of C residues derived from the total C stock of 0-100 cm in monoculture and continuous grazing mixed grass/legume, respectively. The reduction of soil disturbance in the no-tillage allowed greater preservation of C derived from C3 plants in the soil profile in continuous crop and crop-livestock systems.

Key words: soil organic matter, no-tillage, crop-livestock.

3. INTRODUÇÃO

A sustentabilidade dos agroecossistemas depende fundamentalmente da manutenção do equilíbrio do ciclo do C e da matéria orgânica no solo (MOS) (BODDEY et al., 1996). Em ambientes tropicais, a dinâmica do ciclo do C é controlada por um conjunto de fatores como o clima, solo, planta e manejo que se interrelacionam. Além das condições edafoclimáticas, o C orgânico contido no solo depende do equilíbrio entre as entradas de material orgânico e da perda pelos processos decompositores (BAYER & MIELNICZUK, 1999), decorrentes da mineralização da MOS e de resíduos vegetais, ocorrendo, desta forma, a liberação do C para a atmosfera na forma de CO₂; e em condições anaeróbicas, esta perda de C ocorre na forma do gás metano.

A maior parte do C e N orgânico terrestre é encontrada nos resíduos vegetais e na MOS (LAL, 2008). A MOS está envolvida nos diversos processos químicos, físicos e biológicos que se relacionam com a qualidade do solo. Sua dinâmica determina os fluxos de matéria e energia no sistema solo exibindo tendências à sustentabilidade ou a degradação. O entendimento das funções reguladoras da MOS são fundamentais na busca de sistemas agrícolas mais sustentáveis.

Mudanças de uso e manejo do solo podem definir seu papel como dreno ou fonte de carbono a atmosfera (BAKER et al., 2007; CERRI et al., 2009).

Além disso, a expansão das atividades humanas e extração de recursos naturais afetam o ciclo global do C com provável ampliação do efeito estufa e o aquecimento global, trazendo repercussões negativas para a humanidade (IPCC, 2007).

A preservação e/ou melhoramento da qualidade do solo, competitividade, sustentabilidade agroecológica e socioeconômica da agropecuária nos Cerrados devem ser otimizadas. Estes benefícios podem ser alcançados fazendo-se o uso de práticas de manejo que permitam a obtenção de uma produção animal e vegetal sustentável, sempre visando a otimização do uso dos insumos agrícolas, especialmente daqueles que demandam mais energia fóssil e impactam mais no meio ambiente.

A contribuição de leguminosas utilizadas como adubo verde no incremento da MOS, está relacionada com o aumento no rendimento dos cultivos, o que tem sido atribuído ao aumento da disponibilidade de N às culturas cultivadas em sucessão, bem como pelo aumento da quantidade de biomassa vegetal residual no sistema (BAYER et al., 2003).

Desta forma, pode-se dizer que, entre os principais nutrientes, o N é o elemento essencial para o sequestro de C nos solos agrícolas (JANTALIA et al., 2007; URQUIAGA et al., 2005b). Além disso, estudos mostram que o incremento dos níveis de MOS está intimamente associado à disponibilidade de N (CHRISTOPHER & LAL, 2007).

A utilização de práticas conservacionistas do solo pode auxiliar o alcance destes objetivos, já que pressupõe o uso contínuo das áreas agrícolas e a melhoria da qualidade do solo ao longo do tempo (SISTI, 2001; ENTZ et al., 2002; RAO et al., 2003).

Diante deste contexto o presente trabalho objetivou avaliar a influência de diferentes sistemas de manejo agropecuários na dinâmica da matéria orgânica do solo.

3.1. Importância da Preservação da Matéria Orgânica nos Solos

Na natureza, o solo comporta-se como um sistema aberto, trocando matéria e energia com o meio (MIELNICZUK, 1999). A adição de resíduos orgânicos de diversas

origens e suas transformações contínuas por agentes químicos, físicos e biológicos, governam a dinâmica deste sistema complexo de substâncias orgânicas no solo (CAMARGO et al., 1999).

A MOS pode ser definida como um compartimento heterogêneo, composto por numerosas substâncias orgânicas que podem variar de açúcares facilmente mineralizáveis a complexos produtos da transformação microbiana os quais apresentam elevado grau de recalcitrância, onde o tempo de residência pode variar de poucos minutos a centenas de anos (BUYANOVSKY et al., 1994).

Nas regiões tropicais, caracterizada por intensos processos de intemperismo, a presença de C inorgânico é reduzida, a maior parte do C do solo estará na forma de matéria orgânica. Esta pode ser encontrada na forma de resíduos em diferentes graus de decomposição, compostos humificados e materiais carbonizados, associados ou não à fração mineral (CHRISTENSEN, 1992; ROSCOE & MACHADO, 2002).

A MOS é componente chave para a manutenção da qualidade física, química e biológica dos solos e, como consequência, para a sustentabilidade dos sistemas produtivos no médio e longo prazo. Sua função básica, além do mencionado, é promover os processos biológicos do solo por meio da manutenção do metabolismo energético que, direta ou indiretamente, influenciam outras propriedades e processos do solo.

A diversidade de compostos orgânicos que ingressam no solo pela fixação do C atmosférico no processo fotossintético, liberação de compostos orgânicos via exsudados radiculares, lavagem das diferentes partes da planta pela água e a decomposição/mineralização dos resíduos vegetais, servem de substrato para os macro e microrganismos, podendo ser assimilados, liberados como produtos do metabolismo ou respirados como CO₂. Este processo é indispensável à manutenção da ciclagem de nutrientes e preservação dos mesmos em formas disponíveis às plantas.

A MOS tem ação positiva sobre a atividade dos microorganismos e da fauna do solo que, auxiliam na agregação do solo com redução da erosão e do escoamento superficial; complexação de espécies tóxicas de Al e Mn pelos compostos coloidais de C; maior ação sobre a estabilidade dos agregados do solo, porosidade e densidade; contribuição para a diminuição da compactação do solo (PALM et al., 2001; MARTIUS et al., 2001). Possui grande importância como fonte de nutrientes para as culturas, aumento da capacidade de troca catiônica (CTC), retenção e infiltração de água no perfil do solo (CANELLAS & SANTOS, 2005), maior ciclagem de nutrientes (GIACOMINI et al., 2004) e menor resistência ao crescimento de raízes (BAYER et al., 2004).

Mudanças no uso da terra podem alterar os estoques de C do solo. Van Den Bygaart et al. (2003) mensuraram uma redução média de 24% do carbono orgânico do solo (COS) em uma região do Canadá, quando florestas foram convertidas para a agricultura. Na Costa Rica, após 5 anos de introdução de agricultura em solos tropicais, houve uma diminuição de 50% nos estoques de COS (VELDKAMP, 1994). Silva et al. (1994), estudando solos dos Cerrados, sob 5 anos de monocultura de soja com preparo intensivo do solo, em Neossolo quartzarênico, Latossolos de textura média e de textura argilosa, verificaram perdas de COS de 80, 76 e 41%, respectivamente.

Em ambientes tropicais, o processo de degradação dos solos está relacionado à dinâmica da MOS (FELLER & BEARE, 1997). A redução dos conteúdos de MOS, provocada pela conversão da vegetação nativa em sistemas agrícolas, ocorre pela menor adição de resíduos e aumento na taxa de decomposição, bem como maiores perdas das camadas superficiais do solo por erosão (CARTER, 2001).

Quando há um comprometimento do fluxo de energia e matéria ao sistema, processos dissipativos tendenciam a ruptura de agregados do solo de forma a

proporcionar maior exposição da MOS e sua conseqüente oxidação. A redução desta energia armazenada associada a alterações na organização dos componentes do sistema culmina com a compactação, baixa resistência a erosão, menor infiltração e retenção de água do solo, levando a uma menor produtividade do sistema vegetal (ROSCOE, 2005).

A dinâmica do carbono orgânico em agroecossistemas tem sido intensamente estudada, especialmente, em sistemas de produção anual de grãos. No cenário holístico do clima, solo e relevo, a dinâmica do carbono orgânico é a mais afetada pela intensidade dos sistemas de cultivo e preparo do solo, principalmente quanto à qualidade e quantidade da biomassa dos resíduos de colheita presentes (LAL, 2004; SISTI et al, 2004; AMADO et al., 2006).

Esta condição traz a necessidade da inserção de práticas de manejo do solo mais adequadas às condições tropicais, sendo a matéria orgânica um dos fatores mais importantes da qualidade dos solos nas condições edafoclimáticas encontradas no Brasil.

3.2. Uso do Sistema de Plantio Direto e Rotação de Culturas Como Forma de Promover Incrementos nos Estoques de Carbono e Nitrogênio do Solo

O manejo indadequado dos solos, principalmente, nas condições de clima tropical e subtropical, tem levado à perda de produção que pode ser evidenciada pela diminuição nos conteúdos de MOS. Sistemas de manejo e uso do solo que preservem ou que viabilizem as características produtivas do solo são promissores para o desenvolvimento da agropecuária com sustentabilidade econômica, ambiental e responsabilidade social.

O sistema de plantio direto (SPD) pode ser visto como um dos sistemas mais promissores para a prática sustentável da produção agrícola (BODDEY et al., 1997). O potencial de acúmulo da matéria orgânica o torna estratégico para a mitigação das emissões de CO₂ e redução do “efeito estufa” (LAL, 1997).

A redução da intensidade de preparo do solo e diminuição no número de operações de preparo, ou a eliminação completa, tal como praticada no SPD tem demonstrado potencial em recuperar o COS (BAYER et al., 2000; WEST & MARLAND, 2002; WEST & POST, 2002; DIECKOW et al., 2005a; BAYER et al., 2006).

O SPD é muito importante para as regiões tropicais (FANCELLI & FAVARIN, 1989) devido à proteção do solo e os benefícios que traz a obrigatoriedade da rotação de culturas. A cobertura vegetal e os resíduos orgânicos protegem os agregados da superfície do solo contra a desagregação por atenuar o pelo 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).

Procesos de manejo do solo que provocam seu revolvimento destroem os agregados e podem levar à compactação, ocasionando drásticas mudanças nas relações entre o solo-ar-água (CANALLI & RODOLFF, 1997).

A compactação do solo pode afetar a absorção de nutrientes pela modificação no crescimento radicular das plantas e na disponibilidade de nutrientes. No SPD, o adensamento das camadas superficiais e subsuperficiais decorrente do trânsito de máquinas, é muitas vezes, compensado pela continuidade dos poros resultantes da atividade biológica e da decomposição das raízes (GASSEN & GASSEN, 1996). Braidia et al. (2004) discorrem ainda de uma menor suscetibilidade do solo à compactação.

A capacidade de troca catiônica (CTC) pode ser aumentada em sistemas de manejo que proporcionam incremento do carbono orgânico total, tal como o SPD (CIOTTA et al. 2002; BAYER et al., 2003), aplicação da vinhaça em cultivos de cana-de-açúcar e/ ou manutenção do resíduo (CANELLAS et al., 2003), apresentaram maior CTC quando comparados a sistemas de manejo menos conservacionista.

O microclima úmido, favorecido pela permanência do solo coberto, possui menor amplitude térmica que, favorece o desenvolvimento dos microorganismos e a fauna do solo (GASSEN & GASSEN, 1996). Uma desvantagem é a possibilidade de sobrevivência de patógenos de plantas cultivadas, mas, o aumento da MOS favorece a atividade microbiológica total (COSTA, 1997), possibilitando a colonização de agentes antagonísticos à proliferação de fitopatógenos.

Outros benefícios deste sistema podem ser citados, como o ganho de tempo para a sementeira; economia de combustível uma vez que o preparo convencional do solo demanda alta tração dos maquinários utilizados, requerendo maior quantidade de energia para realização do trabalho; melhor estabelecimento da cultura por proporcionar condições favoráveis à germinação de sementes e estabelecimento de plântulas; economia de mão-de-obra, máquinas e implementos. Sistemas de cultivo que aportam grande quantidade de resíduos vegetais sobre o solo têm demonstrado melhor exploração do perfil do solo pelo sistema radicular das plantas (SÁ et al., 2004), e também tem sido observado maior taxa de infiltração da água no solo (LANZANOVA, 2005).

As implicações na adoção do SPD devem-se, principalmente, a obtenção de palhada, em quantidade e capacidade de permanência no campo. A rotação de culturas tem sido recomendada para solucionar esta problemática.

Quando espécies leguminosas são utilizadas como cultura de cobertura, possuem a vantagem de aporte de N fixado biologicamente. Além disso, a biomassa destas plantas possui baixa relação C/N que, facilita a ação decompositora dos microorganismos. No entanto, seu uso pode ser inviabilizado devido à rápida decomposição dos resíduos, comprometendo, em muitos casos, sua utilização como palhada para prática do SPD. Associação de plantio de leguminosas-adubos verdes com espécies de alta relação C/N pode retardar a intensidade de decomposição do resíduo (AITA et al., 2001).

A rotação de culturas também traz vantagens quanto à melhoria da fertilidade e condições físicas do solo, aumento da ciclagem de nutrientes, incremento da microflora e microfauna do solo, controle de plantas daninhas e quebra no ciclo de pragas e inóculos de doenças, com conseqüente redução nos custos de produção pelo menor uso de insumos e defensivos agrícolas (GARCIA et al., 2004; BORGES, 2004).

O balanço de N no sistema solo-planta é fundamental para manter os estoques de C no solo (SISTI et al., 2004), a perda de produtividade dos solos acaba sendo associada à redução dos estoques de N e, conseqüentemente, da MOS.

Os estoques de C em agroecossistemas degradados podem ser recuperados e, em algumas situações, até superar os níveis anteriores ao uso de terra. Há evidências de que a agricultura conservacionista pode sequestrar C atmosférico em quantidades significativas. No entanto, há um potencial limite para acumulação de C no solo (HASSINK, 1997; SIX et al., 2002; STEWART et al., 2008).

A capacidade de saturação resultaria do limite de armazenamento físico de C, determinado por argila e silte no solo e dinâmica da biomassa vegetal (STEWART et al., 2008). Sisti (2001) demonstrou uma estreita relação entre o teor de C e N no solo, do qual se deduz que a elevação do conteúdo de C do solo não depende somente do aporte de resíduos ao solo, mas que haja N disponível no sistema para atender a

demanda dos produtos colhidos da cultura e um excedente integrando os resíduos para constituir a MOS. Também deve ser considerado que o potencial de acúmulo de C no solo é altamente variável e que os solos degradados têm maior potencial de seqüestro nos primeiros anos de aplicação de um sistema conservacionista de recuperação.

3.3. A Integração Lavoura-Pecuária no Cerrado

A agricultura tradicional e a produção pecuária desenvolvida na região do Cerrado são bastante insustentáveis (BROSSARD & LOPEZ, 2005). O sistema intensivo de produção de culturas, embora altamente produtivo, faz uso crescente de fertilizantes e defensivos agrícolas. O sistema de produção extensiva de gado, baseada na exploração da fertilidade natural, leva a um declínio na produtividade das pastagens e à degradação do solo. Durante vários anos, a integração lavoura-pecuária (ILP) tem sido, cada vez mais, recomendada para os agricultores (AYARZA et al., 1998). Entretanto, o conhecimento do comportamento do solo sob estes sistemas é ainda limitado no Brasil (MARCHÃO et al., 2007). Uma melhor compreensão dos efeitos de gestão sob diferentes sistemas de produção é essencial para permitir estimativas mais precisas quanto aos benefícios do sistema.

A ILP pode ser definida como um sistema que integra a atividade de lavoura e pecuária com 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 com o efeito residual da adubação 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.

Nesse sistema de produção, vários fatores biológicos, econômicos e sociais se interrelacionam e determinam sua sustentabilidade (BABINOT JR et al., 2007). O sistema ILP pode proporcionar vantagens biológicas e econômicas em relação a sistemas de produção não integrados (ENTZ et al., 1995; ENTZ et al., 2002; MORAES et al., 2004; RUSSELLE et al., 2007; SULC & TRACY, 2007).

O primeiro sistema da ILP desenvolvido no Brasil foi o sistema Barreirão que utilizava o preparo convencional do solo para o plantio das culturas. Os procedimentos preconizados permitiam o cultivo de arroz de terras altas para implantação da *Brachiaria brizantha*, com o intuito de recuperar áreas de pastagens degradadas (MAGNABOSCO et al., 2001) com um menor custo de recuperação, visto que a forrageira aproveitaria o efeito residual da adubação aplicada na cultura de grãos.

O sistema Santa Fé consiste no cultivo consorciado de culturas anuais, em geral, sorgo, milho, milheto, arroz de terras altas e soja, com espécies forrageiras, principalmente as braquiárias, em áreas agrícolas, em solos parcialmente ou devidamente corrigidos. Para evitar a competição da forrageira com a cultura de grãos, utilizam-se aplicações de subdoses de herbicidas de forma a retardar o desenvolvimento da forrageira e das plantas daninhas. Ao final do ciclo da cultura de grãos, a forrageira se estabelece sem prejudicar o rendimento e a colheita da cultura de grãos, proporcionando boa cobertura do solo e pastagem para o gado na época da seca, além de garantir palhada para o cultivo de grãos, sob SPD (AGNES et al., 2004).

O sistema pressupõe fundamentos básicos como a correção da acidez e fertilidade do solo, uso do SPD, rotação de culturas, uso de raças de animais e genótipos vegetais melhorados com elevado rendimento qualitativos e de rusticidade desejados, manejo correto da pastagem, principalmente em termos de adubação, altura da pastejo e taxa de lotação animal. O manejo apropriado da pastagem é fator imperativo para o sucesso do sistema ILP (CARDOSO et al., 2007).

Dessa maneira, espera-se que a produtividade global (grãos, pastagens e carne por hectare) em áreas que utilizem o sistema integrado atinja níveis adequados para a sustentabilidade da atividade agropecuária no bioma Cerrado, reduzindo a pressão no avanço da fronteira agrícola brasileira.

Os benefícios para os sistemas agrícolas e pecuários são maiores quando essas atividades são desenvolvidas em conjunto (LANDERS, 2007), gerando respostas positivas econômicas e ambientais (ALLEN et al., 2007). A alternância aumenta a produtividade em função da melhoria na fertilidade e estrutura do solo, melhor controle de plantas infestantes, quebra de ciclos de doenças e pragas e aumento na disponibilidade de forragem durante o período de pastejo (MC KENZIE et al., 1999; LANDERS, 2007), principalmente, na entressafra, onde têm tido maiores dificuldades na obtenção de forragem para o rebanho.

Embora a ILP possa apresentar vantagens em relação a sistemas não-integrados de produção, seu sucesso depende do adequado conhecimento sobre o sistema como um todo. Cassol (2003) descreve alguns entraves apresentados no sistema ILP como a escolha da combinação de culturas e pastagens ligadas ao interesses do sistema de produção em uso; risco de compactação do solo adicional devido à entrada dos animais; aumento da complexidade do sistema, exigindo maior preparo de técnicos e produtores; aceitação da atividade pecuária pelos agricultores e vice-versa.

Estudo realizado por Ribeiro Neto et al. (2007), constatou que apesar do cultivo de *Brachiaria* com o milho interferir na produtividade deste último, o consórcio reduz os custos na recuperação das pastagens, produz pasto de qualidade e disponibiliza forragem no período seco, garantindo a manutenção ou mesmo o ganho de peso e a permanência do solo coberto durante todo o ano.

Do ponto de vista da sustentabilidade, os benefícios da ILP podem ser sintetizados como agronômicos, por meio da recuperação e manutenção das características produtivas do solo; econômicos, pela diversificação de oferta de obtenção de maiores rendimentos a menor custo e com qualidade superior; ecológicos, por meio da redução da erosão e da biota nociva às espécies cultivadas, com a consequente redução da necessidade de defensivos agrícolas; sociais, por meio da diluição da renda, já que as atividades pecuárias e agrícolas concentram e distribuem renda, respectivamente. Deve-se considerar ainda a maior geração de tributos, de empregos diretos e indiretos, além da fixação do homem no campo (KLUTHCOUSKI et al., 2000).

3.4. Uso da Técnica da Abundância Natural de $\delta^{13}\text{C}$ nos Estudos de Ciclagem do Carbono no Solo

O C possui dois isótopos estáveis na natureza, possuindo uma composição aproximada de 98,9% de ^{12}C e 1,1% de ^{13}C . A abundância de ^{13}C em plantas é inferior à do CO_2 atmosférico, indicando que ocorre uma discriminação do ^{13}C durante os processos fotossintéticos de incorporação do C na biomassa vegetal (FARQUHAR et al., 1989).

A composição isotópica de C pode ser medida pela relação de $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$ das amostras. O padrão internacional utilizado é o PDB (material calcário fóssil da *Belemnitella americana*, encontrado em uma formação geológica denominada Pee Dee do Cretáceo, na Carolina do Norte, EUA). Sua relação molar entre $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$ é de 0,01124, os desvios em relação ao padrão são conhecidos como unidades em δ (letra grega delta minúscula), os valores são expressos em partes por mil ($\delta^{13}\text{C} \text{ ‰}$), 1 delta equivale a 1 ‰ $\delta_{\text{PDB}}^{13}\text{C}$.

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ do CO_2 atmosférico situam-se em torno de -8 deltas de ^{13}C . O CO_2 atmosférico utilizado pelas plantas durante a fotossíntese sofre uma significativa discriminação isotópica que ocorre com intensidades diferentes entre plantas do ciclo fotossintético C_3 e C_4 .

Plantas que assimilam o CO_2 através da Rubisco (Ribulose bifosfato carboxilase/oxigenase) (ciclo C_3), enzima que possui baixa afinidade pelo CO_2 , possui composição isotópica que varia de -24 a -34 deltas (em média -27 deltas). As plantas que fixam CO_2 pela enzima PEP carboxilase (fosfoenolpiruvato carboxilase) (ciclo C_4), com maior afinidade pelo CO_2 , a composição de ^{13}C encontra-se entre -6 a -19 deltas (média de -13 deltas) (SMITH & EPSTEIN, 1971). Plantas do ciclo CAM (metabolismo ácido das crassuláceas), na maioria das vezes se comportam como espécie C_4 , porém, dependendo das condições ambientais, algumas espécies podem também se comportar como C_3 .

O conhecimento da composição isotópica do COS permite conhecer a origem do C. De acordo com Melillo et al. (1989), durante o processo de decomposição de resíduos vegetais, praticamente, não há discriminação isotópica do ^{13}C entre o material de origem e a MOS originada desse. Com isso, a MOS pode ter sua origem identificada, tomando como base a análise da variação na abundância de ^{13}C .

A técnica de variação da abundância de ^{13}C foi empregada com sucesso em vários estudos para estimar o 'turnover' e dinâmica de C no solo, em longo prazo, onde o padrão fotossintético da vegetação original foi modificada (BALESDENT et al., 1987; MARTIN et al., 1990; SKJEMSTAD et al., 1994; JASTROW et al., 1996).

Métodos mais recentes, baseados na abundância natural de ^{13}C , têm sido aplicados em experimentos de campo (CERRI et al., 1985; BALESDENT et al., 1987). A composição isotópica da MOS é relacionada à composição isotópica da cobertura vegetal. A alteração da vegetação sobre o solo vai refletir na MOS. Assim, as diferenças isotópicas observadas nas frações do solo podem indicar a velocidade da ciclagem de C no sistema.

Em maiores profundidades no perfil do solo, pode ser verificado um ligeiro enriquecimento nos valores de $\delta^{13}\text{C}$. Balesdent et al. (1987) citaram três razões para essas diferenças observadas entre as frações e em profundidade. Primeiro, a decomposição de substratos orgânicos poderia envolver um efeito isotópico normal, então, os produtos microbianos tornariam-se mais enriquecidos em ^{13}C do que os substratos. Segundo Mariotti (1983), nas plantas e microorganismos, ocorrem pequenas variações inter e intra-moleculares de $\delta^{13}\text{C}$. Assim, a decomposição diferenciada entre

os diversos componentes do material pode gerar enriquecimentos isotópicos diferenciados. E por último, as variações climáticas locais e globais, já que os valores de $\delta^{13}\text{C}$ no tempo estão sendo modificados. A queima de combustíveis fósseis (petróleo e carvão), que são menos enriquecidos em $\delta^{13}\text{C}$ (BOUTTON, 1991), libera na atmosfera CO_2 com menores enriquecimentos de ^{13}C . Assim, a MOS mais antiga geralmente apresenta valores menos enriquecidos de ^{13}C uma vez que estas fontes fósseis de energia somente começaram a ser utilizadas em amplitude nos últimos 150 anos. Outra possível causa de variabilidade reside no fato de que na humificação, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ do CO tendem a aumentar (VITORELLO et al., 1989).

A substituição de uma vegetação de ciclo C_3 , em sua maioria, por uma vegetação de plantas C_4 , como cana-de-açúcar, milho, pastagens, entre outras, influenciam significativamente a composição isotópica do C da MOS. 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 C_3) e derivado da nova vegetação (espécies C_4). A velocidade com que ocorre esta substituição permite aplicar modelos para caracterizar os compartimentos da MOS (CERRI et al., 1985).

Para quantificação do C da MOS derivado da vegetação nativa (C_3) e da espécie cultivada (C_4), é necessário conhecer o delta ^{13}C da vegetação original, que pode ser obtido por amostragem em solo de uma área de reserva próxima ao sítio experimental, (parâmetros como textura e densidade, principalmente em profundidades superiores a 60 cm, devem ser obtidos para certificação da uniformidade do solo entre as áreas comparadas), o enriquecimento do solo e o dos resíduos da espécie agrícola.

A técnica de variação da abundância natural de ^{13}C é utilizada com sucesso quando existe uma variação de cobertura vegetal entre espécies do ciclo C_3 para C_4 ou vice-versa. Sistemas onde a MOS nativa de origem C_3 foi substituída por MOS derivada de plantas de ciclos C_3 e C_4 em consórcio ou em rotação pode ser estudado através do modelo proposto por Cadisch & Giller (1996). Este modelo exige que haja implantação simultânea do monocultivo de plantas do ciclo fotossintético C_4 e o consórcio entre plantas C_3 e C_4 , sob as mesmas condições de solo. De forma a possibilitar a avaliação da dinâmica dos três compartimentos da MOS (C_3 da MOS original, C_4 e $\text{C}_3 + \text{C}_4$). A técnica pressupõe que a taxa de decomposição do C derivado da vegetação nativa do solo não é afetada com a introdução das plantas utilizadas nas rotações.

Portanto, para a realização de mensurações precisas do ^{13}C oriundo de diferentes fontes de material vegetal, é imprescindível o conhecimento histórico de utilização da área, o que, muitas das vezes, representa uma grande limitação nos estudos da dinâmica do C nos agroecossistemas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Desenho Experimental e Análise Estatística

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados. As parcelas experimentais possuem dimensões de 50 x 40 m (área de 2000 m²).

A homogeneidade (teste de Cochran & Brattlet) e normalidade (Lilliefors) dos dados foram avaliadas através do programa estatístico SAEG (Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes – UFV – Viçosa, 2007).

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o pacote estatístico MSTAT-C (Michigan State University, EUA) para análise de variância e determinação dos efeitos das variáveis principais. Foi utilizado o delineamento split plot com os sistemas na parcela principal e o manejo do solo nas sub parcelas 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 de comparação de médias LSD Student ($P < 0,05$).

A significância dos sistemas de manejo sobre o acúmulo de carbono e nitrogênio no perfil do solo foi verificada através da comparação das médias das sub parcelas em cada parcela principal.

4.2. Descrição e Caracterização da Área Experimental

O estudo foi realizado no campo experimental da Embrapa Cerrados, localizada a 15° 35'S e 47° 42'30"W e 1200 m acima do nível do mar, no município de Planaltina - DF. O período chuvoso estende-se de outubro a abril, com precipitação média anual de 1400 a 1600 mm, sendo 80% da ocorrência distribuída entre os meses de novembro a abril. A temperatura média é de 21 °C, mantendo-se constante na maior parte do ano.

O solo é classificado como Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2006). A composição mineralógica é constituída de gibbsita 50%, goethita 18%, caulinita 14%, hematita 7%, quartzo e outros 10%, sendo responsável pelo comportamento em termos de troca iônica, capacidade de retenção de água e das características de adsorção de fosfato (CHAPUIS-LARDY, 1997).

A área constitui-se de um experimento de longo prazo iniciado em 1991 quando, uma grande área de Cerrado nativo, caracterizada como uma típica savana (CHAPUIS-LARDY et al., 2002), foi desmatada para converter-se em diferentes sistemas de manejo e uso do solo. Para avaliação dos tratamentos, uma área de cerrado nativo (CN) foi mantida como referência para comparação com as áreas cultivadas.

Os sistemas de uso e manejo do solo avaliados foram:

Sistema 1 (S₁): pastagem contínua em monocultivo de gramíneas;

Sistema 2 (S₂): pastagem contínua consorciada (gramínea/leguminosa);

Sistema 3 (S₃): integração lavoura-pecuária

(S₃L): rotação lavoura/pastagem;

(S₃P): rotação pastagem/lavoura;

Sistema 4 (S₄): lavoura contínua;

CN: cerrado nativo, mantido nas condições originais.

Os sistemas de preparo do solo utilizados foram:

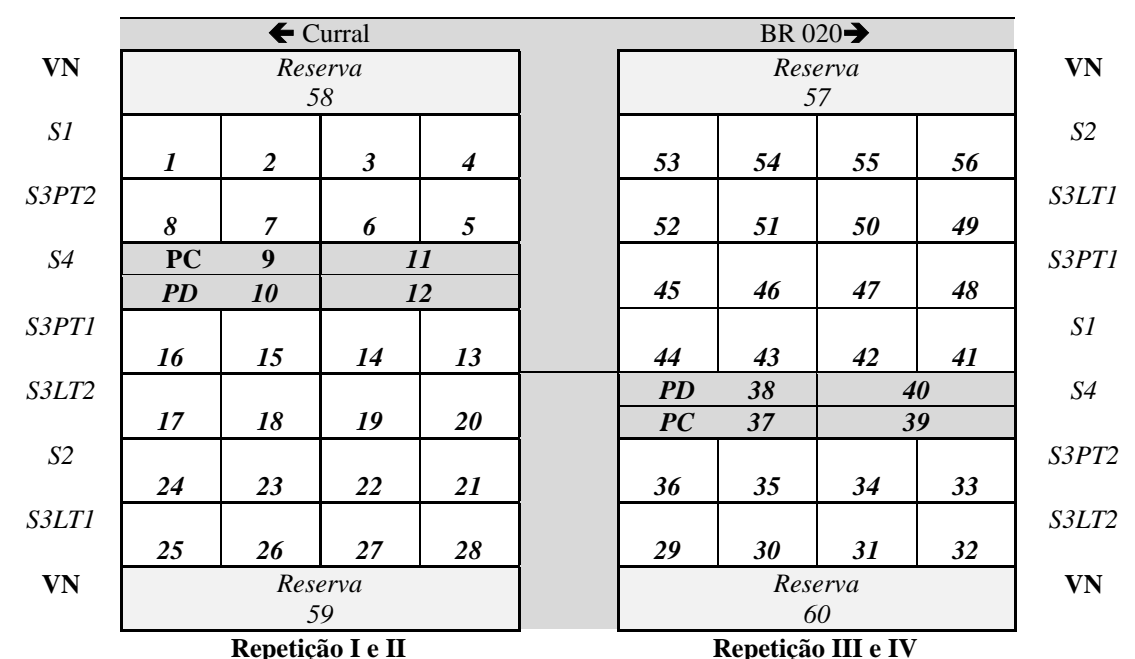
T1: preparo convencional do solo;

T2: sistema de plantio direto (implantado em 1996 nas áreas da ILP).

A fertilização de manutenção da pastagem foi realizada com correção da saturação de bases a 50% + 20 kg de P₂O₅ + 50 kg de K₂O + 60 kg de N/ha⁻¹ano⁻¹. No tratamento de integração lavoura-pecuária no ano de rotação da lavoura para o pasto, não foi realizada adubação, a pastagem implantada utilizou o adubo residual da cultura de grãos. Nas parcelas exploradas com culturas anuais, procedeu-se adubação corretiva gradual. Nas pastagens contínuas de gramíneas consorciadas com leguminosas não foi aplicado fertilizante nitrogenado.

No estabelecimento do experimento, em 1991, foi aplicado calcário dolomítico na dose de 5,8 Mg ha⁻¹, as pastagens e os cultivos receberam quantidades de fertilizantes com P, K e micronutrientes.

A esquematização de distribuição dos tratamentos no campo experimental está esboçada na Figura 1. A representação sequencial da ocupação da área com as explorações entre os anos de 1991 e 2010 consta na Tabela 1.



- S1 – Pastagem contínua em monocultivo de gramínea;
 S2 – Pastagem contínua de gramínea consorciada com leguminosa;
 S3P – Integração lavoura-pecuária com rotação iniciada com pastagem;
 S3L – Integração lavoura-pecuária com rotação iniciada com lavoura;
 S4 – Lavoura contínua;
 T1 – Preparo convencional do solo;
 T2 – Sistema de plantio direto.

Figura1. Croqui da área experimental.

Tabela 1. Culturas exploradas em 20 anos de experimento nos diferentes sistemas avaliados.

Ano	Pastagem contínua		Integração lavoura-pecuária		Lavoura contínua
	Gramínea S1	Consortiada com leguminosa S2	Rotação pasto/lavoura S3P	Rotação lavoura/pasto S3L	
1991	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	<i>Ag. cv. Planaltina</i> + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	Soja cv. Doko	Soja cv. Doko
1992	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	<i>Ag. cv. Planaltina</i> + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	Soja cv. Siriema	Soja cv. Siriema
1993	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	<i>Ag. cv. Planaltina</i> + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	Milho BR 2001	Milho BR 2001
1994	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	<i>Ag. cv. Planaltina</i> + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	Soja cv. Savana	Soja cv. Savana
1995	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	<i>Ag. cv. Planaltina</i> + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	Milho cv. BR 205	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	Milho cv. BR 205
1996	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	<i>Ag. cv. Planaltina</i> + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	Soja cv. Savana	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	Soja cv. Savana
1997	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	<i>Ag. cv. Planaltina</i> + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	Milho cv. BR 205	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	Milho cv. BR 205
1998	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	<i>Ag. cv. Planaltina</i> + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	Soja cv. Celeste	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	Soja cv. Celeste
1999	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	<i>Ag. cv. Planaltina</i> + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia	Soja cv. Milena	Soja cv. Milena
2000	<i>B. decumbens</i>	Bd + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia	Milheto cv. "CPAC"	Milheto cv. "CPAC"
2001	<i>B. decumbens</i>	Bd + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia	Soja cv Nina	Soja cv Nina
2002	<i>B. decumbens</i>	Bd + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia	Milheto cv. "CPAC"	Milheto cv. "CPAC"
2003	<i>B. decumbens</i>	Bd + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia	Soja cv. Raimunda + <i>Bb. cv. Marandu</i>	Soja cv. Raimunda
2004	<i>B. decumbens</i>	Bd + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	Soja cv. Emgopa 313	<i>Bb. cv. marandu</i>	Soja cv. Emgopa 313
2005	<i>B. decumbens</i>	Bd + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	Sorgo BR 304	<i>Bb. cv. marandu</i>	Sorgo BR 304
2006	<i>B. decumbens</i>	Bd + <i>C. cajan</i>	Soja cv. Valiosa	<i>Bb. cv. marandu</i>	Soja cv. Valiosa
2007	<i>B. decumbens</i>	Bd + <i>C. cajan</i>	<i>Bb. cv. Piatã</i> + Milheto cv. "CPAC"	Soja cv. Valiosa rr	Soja cv. Valiosa rr
2008	<i>B. decumbens</i>	Bd + <i>C. cajan</i>	<i>Bb. cv. Piatã</i>	Milho BRS 1010	Milho BRS 1010
2009	<i>B. decumbens</i>	Bd + <i>C. cajan</i>	<i>Bb. cv. Piatã</i>	Soja cv. Valiosa rr	Soja cv. Valiosa rr
2010	<i>B. decumbens</i>	Bd + <i>C. cajan</i>	<i>Bb. cv. Piatã</i>	Soja cv. Valiosa rr	Soja cv. Valiosa rr

Bd. - *Brachiaria decumbens*
 Bb. - *Brachiaria brizantha*
 Ag. - *Adropogon gayanus*
 Sg. - *Stylosanthes guinensis*

C. cajan - *Cajanus cajan*
P. maximum - *Panicum maximum*
 rr - Roundup Ready

Na área de pastagem, a gramínea introduzida entre os anos de 1991 e 1999 foi *Andropogon gayanus* cv. Planaltina, sendo substituída então por *Brachiaria decumbens* nos tratamentos sob pastagem contínua. Na ILP a pastagem de *Andropogon* foi substituída pela gramínea *Brachiaria brizantha* (Bb) (Hochst.) Stapf. cv. Marandu na rotação lavoura-pasto. Na rotação pasto-lavoura foi implantado o capim *Panicum maximum* cv. Tanzânia, sendo substituído em 2007 por Bb. cv. Piatã.

No tratamento de pastagem consorciada, as espécies de leguminosas forrageiras utilizadas foram: calopogônio (*Calopogonium mucunoides*), estilosantes (*Stylosanthes guianensis* cv. Minerão), soja perene (*Neonotonia wightii* cv. Comum) e *Centrosema brasilianum*. Após alguns meses o *Stylosanthes guianensis* foi a leguminosa dominante.

Em maio de 1995 o solo sob as pastagens consorciadas foi revolvido para restabelecimento da pastagem e incremento do estilosantes, espécie que melhor se adaptou ao sistema consorciado. Com intuito de recuperar as pastagens, em novembro de 1995, todos os sistemas de uso do solo foram cultivados com milho. As doses de adubação aplicada nos diferentes sistemas de manejo estão esboçadas na Tabela 2. Em 2006, o estilosantes foi substituído pela leguminosa forrageira guandu (*Cajanus cajan*).

Nas áreas sob pastagem foi utilizado o sistema de pastejo rotacionado, com período de ocupação e descanso de 14 dias. A oferta de forragem (8 a 10 kg de matéria verde por 100 kg de peso vivo) foi constante e ajustada a cada 28 dias.

Na ILP a rotação pasto-lavoura, e vice-versa, foi realizada a cada 4 anos.

Tabela 2. Quantidades de N, P₂O₅, K₂O em kg ha⁻¹) adicionados pelos fertilizantes na ocasião de reforma das pastagens.

Sistemas de manejo	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	-----kg ha ⁻¹ -----		
Sistemas 1	40	164	84
Sistemas 2	0	164	104

Para os estudos realizados, faz-se necessário que toda área esteja inserida em uma mesma classe textural do solo. Para constatação deste requisito, realizou-se amostragem de solo na mesma área em 2003 por Jantalia (2005), na ocasião foi constatado que o solo nas três áreas em estudo (Cerrado, Lavoura e Pastagem) são pertencentes à mesma classe textural, conforme aponta a Tabela 3.

Tabela 3. Conteúdo de areia no perfil do solo (0-80 cm) sob os tratamentos de pastagem, lavoura e sob cerrado. JANTALIA (2005).

Profundidade (cm)	Pastagem	Lavoura	Cerrado
	----- g kg ⁻¹ -----		
0-10	330*	300	340
10-20	330*	330	320
20-30	310*	300	330
30-40	290*	310	300
40-60	270*	290	290
60-80	280*	270	290

*Médias na mesma linha não diferem entre si pelo teste LSD de Student (P<0,05). Os valores representam a média de 4 repetições por tratamento.

4.3. Amostragem e Preparo das Amostras de Solo

A amostragem do solo foi realizada em Março de 2010, na ocasião foram retiradas 4 amostras compostas, com 4 sub-amostras, em todos os tratamentos, mais amostras de uma área sob cerrado nativo, conforme realizado por JANTÁLIA (2005), com auxílio de trado holandês, para mensurações químicas. Considerando que a densidade do solo não foi alterada em profundidades superiores a 40 cm, após determinação realizada por JANTALIA (2005) na mesma área experimental, as amostras para mensuração deste parâmetro físico foram retiradas do perfil do solo nos intervalos de profundidade de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30 e 30-40 cm. As amostras de solo de cada intervalo de profundidade foram coletadas, conforme metodologia descrita por EMBRAPA (1979), fazendo uso de um anel volumétrico, para determinação da densidade do solo, com duas repetições por tratamento, onde cada repetição foi composta de três sub-amostras. Para a retirada destas amostras, foi aberta uma trincheira em cada tratamento com 1 metro de profundidade, 1 metro de largura e 1 metro de comprimento. As amostras foram secas em estufa a 110 °C por 72 horas e pesadas, para determinação da massa de solo seco para determinar finalmente a densidade do solo.

As amostras de solo coletadas com trado holandês foram secas ao ar, destorroadas, passadas em peneira de 2 mm e submetidas à análises de rotina da fertilidade do solo para mensuração do pH em água, Al trocável, Ca + Mg trocáveis, Ca trocável, P assimilável, Potássio trocável e Nitrogênio total, no laboratório de Química Agrícola da Embrapa Agrobiologia, conforme a metodologia descrita em EMBRAPA (1979). Para análise de carbono orgânico total, retirou-se sub-amostras das amostras previamente peneiradas, seguido de trituração em moinho de rolagem até a pulverização (SMITH e MYUNG, 1990).

A concentração de carbono orgânico total do solo foi determinada pelo método de combustão a seco utilizando-se, aproximadamente, 20 mg da amostra de solo acondicionadas em cápsulas de estanho e analisadas em um auto-analisador de carbono (Modelo Elementar Combustion System CHNS-0, Costech Analytical Technologies Inc., Valencia, USA), no laboratório de Química Agrícola da Embrapa Agrobiologia. Amostra e cápsula reagem com o oxigênio a uma temperatura de 1700 a 1800 °C; a amostra é decomposta em N₂, CO₂, H₂O e SO₄. 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. Um software acoplado ao sistema compara o pico de leitura do elemento conhecido com 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 10 amostras com amostras-padrão do laboratório.

Para determinação do teor de nitrogênio do solo, alíquotas de 1000 mg de solo foram submetidas ao método de digestão semi-micro Kjeldahl (BREMNER & MULVANEY, 1982), com digestão das amostras pelo ácido sulfúrico concentrado e catalisadores (CuSO₄/K₂SO₄/Se, na proporção de 100:10:1) a 150 °C por 1 hora e depois 300 °C por mais 3 horas (ou até o clareamento da solução). Estas, foram alcalinizadas com 20 ml de uma solução de NaOH a 50%, em seguida, destiladas em arraste a vapor e tituladas com solução alcoólica (ácido bórico + azul metil + vermelho metil) em destilador automático Kjeltec Auto-analyzer modelo 1030 (TECATOR, Höganäs, Sweden). De acordo com Lima et al. (1987), a cada bloco digestor contendo 40 amostras devem ser analisadas duas amostras em branco e duas amostras-padrão de solo para calibração.

4.4. Cálculos dos Estoques de Carbono e Nitrogênio no Perfil do Solo

Para as determinações dos estoques de carbono e nitrogênio no perfil do solo foram realizado os devidos ajustes para comparação deste no solo sob vegetação nativa e sob os sistemas agrícolas, visto que esses apresentam certo grau de compactação das camadas superiores do solo devido ao trânsito de máquinas e pisoteio animal (VELDKAMP, 1994; NEILL et al., 1997). Esta correção foi expressa matematicamente por SISTI et al. (2004) pela equação a seguir:

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

Equação 1

onde C_S é o estoque de carbono total (Mg C ha^{-1}); $\sum_{i=1}^{n-1} C_{Ti}$ é a soma do conteúdo de carbono total (Mg ha^{-1}) na camada 1 (superfície) a camada 'n-1' (penúltima) no perfil do solo sob o tratamento; $\sum_{i=1}^n M_{Si}$ é a soma da massa de solo (Mg ha^{-1}) na camada 1 (superfície) a 'n' (última camada) no perfil do solo referência; $\sum_{i=1}^n M_{Ti}$ é a soma da massa de solo (Mg ha^{-1}) na camada 1 (superfície) a 'n' (última camada) no perfil do tratamento, M_{Tn} e C_{Tn} é a massa de solo e a concentração de carbono na última camada do perfil do solo sob tratamento (Mg C Mg solo^{-1}), respectivamente.

4.5. Estimativa da Proporção de Carbono do Solo Derivado da Vegetação Nativa Original

A origem do carbono do solo foi estimada em percentagem, com base na relação do isótopo de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ presente no solo. A abundância isotópica de ^{13}C do solo foi determinada em alíquotas contendo entre 200 e 400 μg de carbono total, utilizando um espectrômetro de relação de massa isotópica de fluxo contínuo (espectrômetro de massa Finnigan Delta Plus acoplado em um auto-analisador de C e N total Costech EA 1108 – Finnigan MAT, Bremen, Alemanha).

Neste estudo, os valores da abundância de ^{13}C do solo no perfil sob a vegetação de cerrado representaram a composição isotópica inicial do solo, ou seja, anterior a implantação do experimento, considerando que o estoque de C deste sistema está em equilíbrio. A porcentagem de C da MOS derivado da vegetação nativa (fC_{dCN}) foi calculada em cada intervalo de profundidade através do modelo simples padrão (BALESDENT et al., 1988), determinando assim a proporção de C- C_3 da MOS derivado da vegetação do cerrado e de C- C_4 da MOS derivado dos resíduos de pastagens e da cultura do milho/milheto. Desta forma, conhecendo-se os valores médios de $^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ (‰) da MO do perfil de solo sob cerrado (δ_{VN}) e sob os tratamentos (δ), juntamente com os valores de $^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ (‰) derivado dos resíduos (δ_B) das plantas C_4 , foi possível calcular o C da fração da MOS oriunda da vegetação nativa e plantas C_3 . Para este cálculo, utilizou-se a equação 2 descrita a seguir.

$$fC_{dvn} = (\delta - \delta_B) / (\delta_{VN} - \delta_B)$$

Equação 2

Na pastagem de gramínea consorciada com leguminosa (S₂) o C da MOS é composto por resíduos do cerrado (C₃), guandu (C₃) e brachiaria (C₄). O modelo proposto por Cadisch & Guiller (1996), que permite quantificar a origem do C da MOS quando há rotação ou consórcio de culturas C₃ e C₄ em uma área inicialmente ocupada apenas por plantas de mesmo ciclo fotossintético foi utilizado para determinação da fração do C-C₃ da MOS derivada dos resíduos de guandu da fração da MO original do solo. O sistema de pastagem em monocultivo de gramínea (S₁) foi utilizado para a aplicação deste modelo.

A proporção da matéria orgânica do solo derivada da espécie C₃ (%MOS₁) foi calculada utilizando a equação desenvolvida por Cadisch & Giller (1996):

$$\%MOS_1 = 1 / \delta^{13}C_1 - \delta^{13}C_g [\delta^{13}C_{g1} - \delta^{13}C_g + C_g / C_{g1} (\delta^{13}C_1 - \delta^{13}C_g)]$$

Equação 3

Onde, a matéria orgânica do solo derivada da espécie C₃, possui uma marcação natural $\delta^{13}C_1$; $\delta^{13}C_g$ é a marcação natural da espécie C₄; $\delta^{13}C_{g1}$ é a marcação natural do C do solo sob o consórcio; C_g e C_{g1} são, respectivamente, o conteúdo de C do solo sob a espécie C₄ e sob o consórcio.

Na pastagem consorciada (S₂), com a determinação do C total derivado dos resíduos culturais (Brachiaria + guandu) (C_{res}) e o C total derivado da vegetação nativa original (C_{VN}) obtidos pela técnica de Cadisch & Giller (1996), seguindo a equação:

$$(C_{resR2} \delta_{resR2}) + (C_{NV} \delta_{NV}) = C_{R2} \delta_{R2}$$

Equação 4

O valores de $\delta^{13}C$ utilizados nos cálculos para a determinação da contribuição do C da MOS proveniente das plantas cultivadas foram – 28 ‰ para a leguminosa forrageira e – 12 ‰ para a braquiaria.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Densidade e Parâmetros Químicos do Solo Sob o Cerrado e Sob os Diferentes Sistemas

As densidades do solo apresentadas no Cerrado nativo, nas profundidades de 0 a 100 cm, variaram de 0,90 a 1,11 Mg m⁻³. Nota-se que a densidade do solo foi superior sob a vegetação do Cerrado e no tratamento S3PT1 que nos demais sistemas na profundidade de 0 a 5 cm (Tabela 4).

Tabela 4. Densidade do solo no perfil (0-100 cm) sob os diferentes tratamentos e sob Cerrado.

Prof. (cm)	Densidade do solo (Mg m ⁻³)								
	S1	S2	S3LT1	S3LT2	S3PT1	S3PT2	S4T1	S4T2	CN
0-5	1,05 abc*	1,01 cd	1,16 a	0,97 d	1,11 a	1,13 a	1,09 ab	1,03 bcd	1,11 a
5-10	1,18 a	1,09 b	1,24 a	1,06 b	1,07 b	1,18 a	1,18 a	1,18 a	1,05 b
10-15	1,17 ab	1,10 bc	1,22 a	1,06 cd	1,10 bc	1,16 ab	1,20 a	1,17 bc	1,03 d
15-20	1,16 ab	1,08 cde	1,21 a	1,05 de	1,11 bcd	1,16 bcd	1,13 bc	1,13 bc	1,03 e
20-30	1,07 abc	1,03 bcd	1,15 a	0,99 d	1,03 bcd	1,07 abc	1,04 bcd	1,10 ab	1,00cd
30-40	1,08 ab	0,98 cd	1,10 a	0,94 d	0,94 d	1,05 abc	0,98 cd	1,02 bc	0,99 cd
40-60	1,00 a	0,98 a	1,02 a	0,98 a	1,02 a	0,98 a	1,00 a	1,01 a	0,96 a
60-80	0,98 a	0,96 a	0,99 a	0,96 a	0,99 a	0,96 a	0,95 a	0,97 a	0,92 a
80-100	0,97 a	0,91 a	0,96 a	0,93 a	0,93 a	0,93 a	0,92 a	0,93 a	0,90 a

Os valores representam a média de 6 repetições por tratamento.

*Médias na mesma linha seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste t LSD de Student (P<0,05).

A densidade do solo sob o Cerrado diferiu mais significativamente ($p < 0,05$) dos demais tratamentos na profundidade de 5 a 20 cm. Esta diferença na densidade do solo entre áreas sob manejo agrícola e áreas sob condições naturais nestas profundidades do solo é esperado, visto que o preparo do solo e o tráfego de máquinas e animais modificam a porosidade do solo, que fica mais adensado pela redução de macro e microporosidade do solo (ELTZ et al., 1989).

As diferenças significativas apresentadas nas profundidades de 0 a 40 cm nos sistemas S3LT1 e S3LT2, ocupado por lavoura no momento da coleta, podem ser decorrência da distinta forma de preparo do solo. Este mesmo comportamento não foi observado nos sistemas S3PT1 e S3PT2, sob o uso de pastagem, onde houve maior diferença na camada de 5 a 10 cm. O uso do solo no momento da coleta pode ter influenciado os resultados, nestes sistemas, a presença da gramínea forrageira, por apresentar um sistema radicular mais profuso e difuso quando comparado às culturas anuais, pode ter atenuado os impactos do sistema convencional de preparo do solo sobre a sua densidade.

O sistema S3LT1 apresentou as maiores densidades em todas as profundidades, a mesma tendência não foi observada nos demais sistemas com preparo convencional do solo.

Não houve diferença significativa nas densidades de todos os tratamentos avaliados a partir de 40 cm (Tabela 4). Estes resultados, aliados à determinação da

textura do solo (Tabela 3), indicam semelhança do solo em todas as áreas de estudo. Esta confirmação permite a comparação segura dos estoques de carbono e nitrogênio das áreas avaliadas, como efeito dos tratamentos em estudo.

O solo sob Cerrado apresentou teores de fósforo inferiores a 1 mg dm^{-3} , e os valores de Ca e Mg foram baixos, que somados apresentaram valores máximos de $0,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, além de valores baixos de pH na camada de 0 a 40 cm de profundidade (Tabela 5).

Tabela 5. Parâmetros químicos do solo sob o Cerrado.

Rotação Cultura	Prof (cm)	pH (H ₂ O)	Al -- cmol _c dm ⁻³ --	Ca+Mg -- cmol _c dm ⁻³ --	P - mg dm ⁻³ -	K
Cerrado Nativo						
	0-5	3,7	0,9	0,1	0,7	39
	5-10	3,9	0,5	0,0	0,6	28
	10-15	4,1	0,5	0,1	0,5	27
	15-20	4,3	0,4	0,1	0,4	24
	20-30	4,4	0,3	0,0	0,4	19
	30-40	4,5	0,2	0,0	0,3	16

O manejo da fertilidade do solo através de adubações e calagens realizadas no experimento proporcionou a elevação do pH, nos teores de cálcio e magnésio, fósforo e potássio, bem como a redução do alumínio trocável em todas as profundidades, comparando-se os valores observados na análise química do solo entre a área sob condições naturais, o cerrado, e as áreas sob diferentes manejos e usos do solo (Tabelas 6 e 7). Dados semelhantes foram encontrados por Jantalia (2005) na mesma área do presente estudo.

Os maiores teores de potássio foram observados nas profundidades de 0 a 15 cm nas áreas ocupadas com os sistemas S4T1, S4T2, S3LT1 e S3LT2. Este incremento do potássio em relação aos outros sistemas pode ser em decorrência da adubação de cobertura realizada.

Tabela 6. Parâmetros químicos do solo dos sistemas contínuos de produção bovina e de grãos.

Rotação Cultura	Prof (cm)	pH (H ₂ O)	Al	Ca cmolc dm ⁻³	Mg	P mg dm ⁻³	K
S1							
	0-5	5,8	0,1	4,0	1,4	3,6	80
	5-10	6,0	0,1	2,8	0,6	3,0	51
	10-15	5,4	0,1	2,2	0,5	2,7	39
	15-20	5,5	0,1	1,4	0,4	2,5	24
	20-30	5,6	0,1	1,0	0,3	2,3	23
	30-40	5,5	0,1	0,5	0,3	2,2	18
S2							
	0-5	5,5	0,1	3,9	1,4	3,4	68
	5-10	5,3	0,1	2,9	0,7	3,2	35
	10-15	5,2	0,1	2,7	0,5	3,1	32
	15-20	5,3	0,1	2,4	0,3	3,0	28
	20-30	5,3	0,1	2,0	0,2	3,0	22
	30-40	5,3	0,1	1,6	0,1	2,9	21
S4T1							
	0-5	5,1	0,1	1,8	0,5	9,1	110
	5-10	5,0	0,1	1,6	0,5	6,3	97
	10-15	5,0	0,1	1,4	0,2	4,6	88
	15-20	5,0	0,2	1,2	0,2	3,5	81
	20-30	4,9	0,2	0,7	0,1	2,8	73
	30-40	4,5	0,2	0,2	0,1	2,4	40
S4T2							
	0-5	6,1	0,2	5,1	1,3	12,0	205
	5-10	6,2	0,1	3,2	0,7	4,4	147
	10-15	5,4	0,2	1,4	0,3	3,1	106
	15-20	5,1	0,4	0,8	0,2	3,5	73
	20-30	5,0	0,4	0,6	0,1	2,3	55
	30-40	5,0	0,3	0,7	0,1	2,4	40

Tabela 7. Parâmetros químicos do solo dos sistemas de integração lavoura-pecuária.

Rotação	Prof	pH	Al	Ca	Mg	P	K
Cultura	(cm)	(H₂O)	cmolc dm⁻³			mg dm⁻³	
S3LT1							
	0-5	5,1	0,1	2,1	0,6	5,5	96
	5-10	5,0	0,1	2,3	0,6	4,4	83
	10-15	5,0	0,1	1,7	0,4	3,0	49
	15-20	5,5	0,2	1,5	0,4	1,4	70
	20-30	5,3	0,2	1,1	0,2	1,2	57
	30-40	5,1	0,2	0,8	0,1	1,1	38
S3LT2							
	0-5	6,0	0,0	4,4	1,9	7,8	81
	5-10	6,1	0,0	3,9	1,6	4,5	59
	10-15	6,0	0,0	3,4	1,3	2,2	60
	15-20	5,9	0,0	3,0	1,1	1,9	55
	20-30	5,9	0,0	2,6	0,8	1,8	56
	30-40	5,8	0,1	2,4	0,7	1,7	57
S3PT1							
	0-5	5,3	0,0	2,6	1,1	3,4	71
	5-10	5,3	0,1	2,5	0,8	3,9	40
	10-15	5,2	0,1	2,6	0,5	3,7	34
	15-20	5,2	0,1	2,3	0,4	3,0	39
	20-30	4,9	0,1	1,7	0,2	2,8	35
	30-40	5,0	0,2	1,3	0,2	2,6	26
S3PT2							
	0-5	5,4	0,1	3,0	1,2	4,1	76
	5-10	5,2	0,1	1,8	0,4	1,8	44
	10-15	5,2	0,1	1,4	0,3	1,6	39
	15-20	4,9	0,2	1,3	0,4	1,4	33
	20-30	4,9	0,1	1,2	0,3	1,3	27
	30-40	4,8	0,1	0,7	0,2	1,5	16

O teor de fósforo e potássio nos tratamentos S3LT1 e S3LT2 foram superiores aos sistemas S3PT1 e S3PT2 (Tabela 7); Esta diferença pode ser atribuída a uma adubação do solo mais frequente na rotação lavoura-pasto (Tabela 1).

Em todos os sistemas onde houve distintas formas de preparo do solo, os teores de fósforo apresentaram maiores valores abaixo de 5 cm. Estes resultados indicam que o revolvimento do solo proporcionou a distribuição deste nutriente para as camadas mais profundas do solo, já que o P apresenta baixa mobilidade no solo.

Na ILP, onde a rotação foi iniciada com pastagem, nota-se que houve uma maior distribuição dos nutrientes no perfil do solo até 40 cm no PC quando comparado ao

SPD. Já nos tratamentos S3LT1 e S3LT2, os nutrientes mostraram-se bem distribuídos em ambos os perfis, porém, apresentou maiores teores em S3LT2 (Tabela 7).

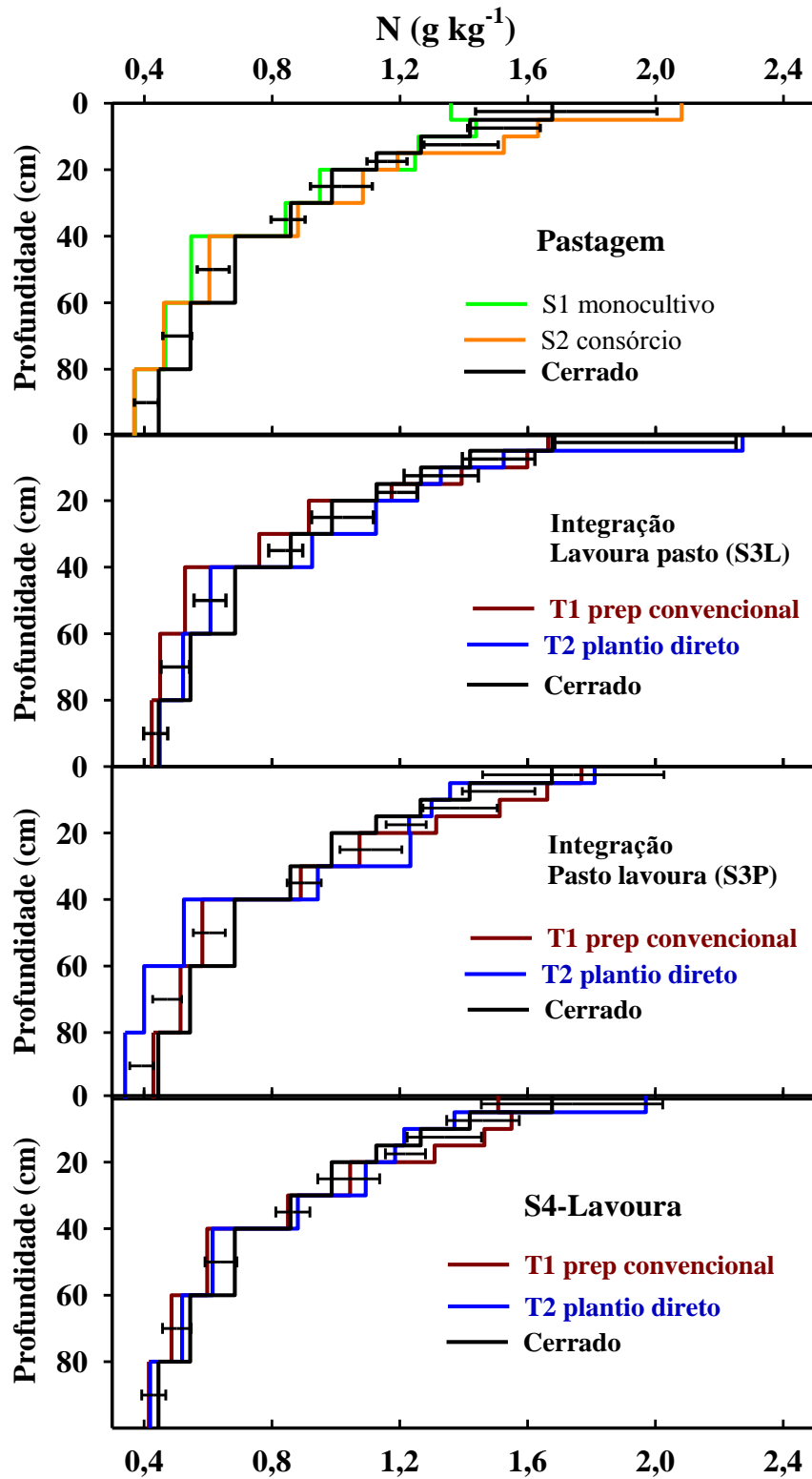
Estes dados podem ser consequência do histórico de ocupação destas áreas. Quando o solo sob o Cerrado foi convertido para os diferentes sistemas agrícolas, houve a aplicação de calcário e de fertilizantes, e estes insumos foram incorporados ao solo fazendo-se o uso de aração e gradagem, o que permitiu a correção da acidez e fertilidade do solo em maiores profundidades. No entanto, na ILP com rotação iniciada com pastagem, este processo, ocorreu apenas no primeiro ano, onde já houve a inserção da pastagem. Após isto, o solo ficou coberto com pasto por um período de 4 anos. Em seguida, quando houve a implantação da lavoura, no tratamento S3PT2, este já não sofreu mais revolvimento do solo. Esta ausência de revolvimento pode não ter proporcionado uma melhor correção da acidez e fertilidade do solo nas camadas inferiores a 20 cm, como mostram os resultados de pH, P, K, Ca e Mg na Tabela 7.

Já na ILP, rotação iniciada com lavoura, a adoção do SPD somente ocorreu em 1996, ou seja, durante os 5 anos iniciais os insumos agrícolas foram distribuídos no perfil do solo (0 a 40 cm) com a utilização do PC. O que possibilitou uma correção inicial do solo até uma profundidade que permitiu melhor exploração do sistema radicular das plantas.

5.2. Distribuição dos Teores de Nitrogênio e Carbono no Perfil do Solo Sob o Cerrado e Demais Sistemas de Manejo e Uso do Solo

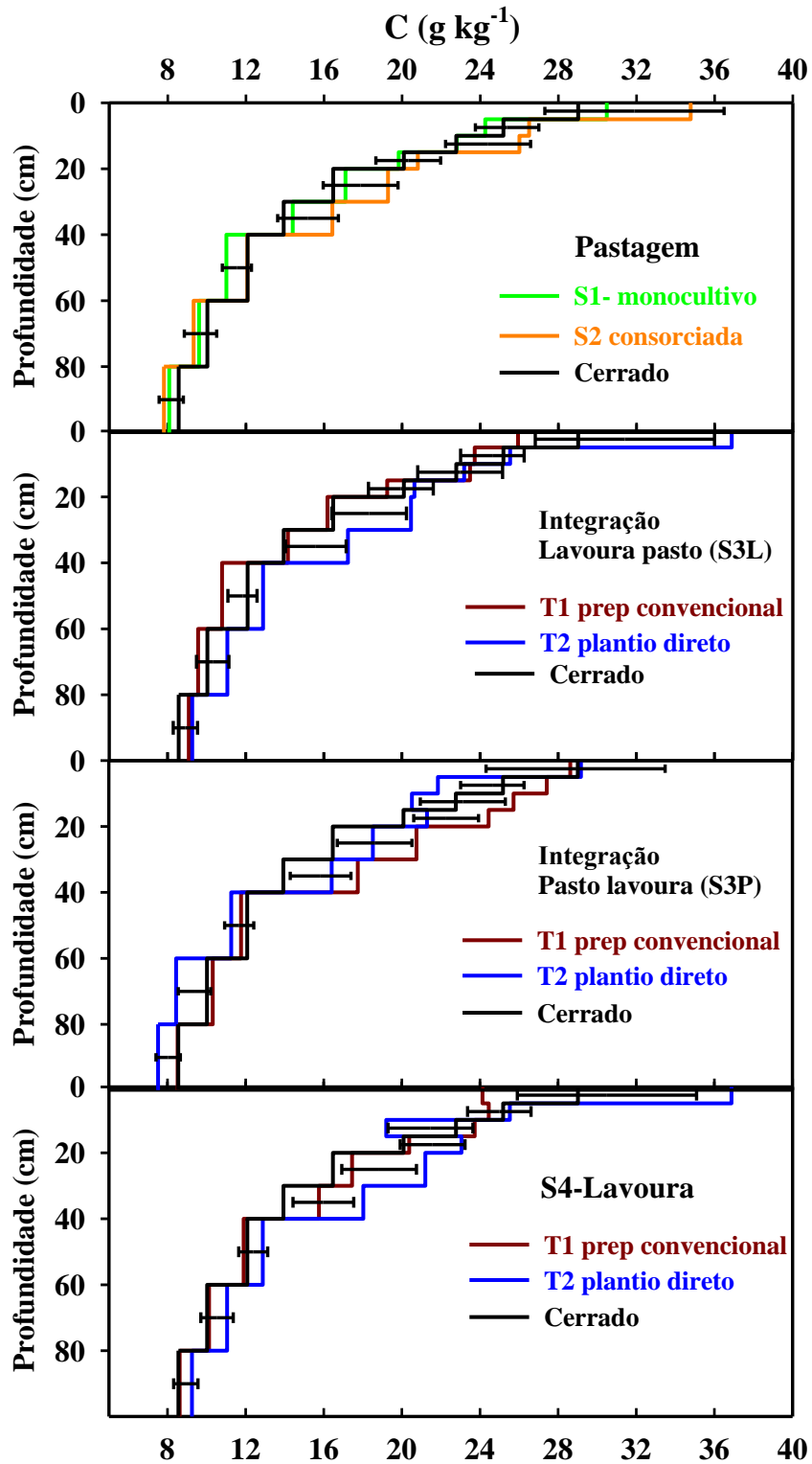
Os teores de N e C do solo, conforme o esperado foram maiores nas camadas superficiais e diminuíram com a profundidade até 100 cm (Figuras 2 e 3).

No solo sob a vegetação do Cerrado, os teores de N nas camadas de 0 a 5 e 5 a 10 cm variaram de 1,6 a 1,4 g kg⁻¹ de solo, já as concentrações de C oscilaram de 29 a 25 g.kg⁻¹ (Figura 2 e 3). Houve uma redução de 55% nas concentrações destes elementos nestas profundidades para a camada de 40 a 60 cm. Estas reduções apresentaram resultados semelhantes nos demais sistemas para os conteúdos de C, porém, os teores de N apresentaram uma redução média de 63%.



┌ DMS – Diferença mínima significativa entre os sistemas pelo teste LSD ($P < 0,05$).

Figura 2. Concentração de nitrogênio total (g kg^{-1}) no perfil do solo sob o Cerrado nativo e sob diferentes sistemas de manejo e uso do solo.



— DMS – Diferença mínima significativa entre os sistemas pelo teste LSD (P<0,05).

Figura 3. Concentração de carbono total (g kg⁻¹) no perfil do solo sob o Cerrado nativo e sob diferentes sistemas de manejo e uso do solo.

Os teores totais de C e N encontrados no perfil do solo do presente estudo foram inferiores aos explicitados por Jantalia et al. (2007) em estudos em outro fragmento de Cerrado na mesma estação experimental.

No sistema de pastagem contínua, de forma geral, a pastagem em monocultivo apresentou teores de C e N próximos àqueles observados sob Cerrado. D'Andréa et al. (2004) não encontraram diferenças significativas nos teores de C e N até a profundidade de 100 cm em uma área de pastagens de 10 anos comparada ao Cerrado *stricto sensu*. Na pastagem consorciada, houve incremento de C e N em relação ao Cerrado até 40 cm, apontando a importância do consórcio com a leguminosa forrageira no acúmulo de matéria orgânica no solo (Figuras 2 e 3).

No tratamento ILP, rotação iniciada com lavoura (S3L), o sistema de plantio direto apresentou maior concentração de C principalmente entre 40 - 60 cm de profundidade, em relação ao plantio convencional (T1).

Na ILP com rotação iniciada com pastagem, nota-se que os teores de C e N no Cerrado foram superiores a partir de 40 cm de profundidade. Estes dados apontam a capacidade do sistema acumular matéria orgânica em profundidade. O plantio convencional (T1) apresentou maiores teores de C quando comparado ao plantio direto (T2) até 40 cm, este resultado pode ter sido em decorrência da incorporação dos resíduos das forrageiras proporcionada com o preparo do solo (Figuras 2 e 3).

No tratamento de lavoura contínua, o teor de C do SPD mostrou-se inferior ao do Cerrado apenas na profundidade de 10 a 15 cm, apontando para sua capacidade em manter ou incrementar C nas demais profundidades (Figura 3). A distribuição dos teores de N mostrou-se semelhante aos demais sistemas, onde houve uma redução das concentrações nas camadas inferiores a 40 cm. A concentração de N em T1 foi superior a T2 apenas na camada de 5 a 20 cm, fato que pode ser atribuído à incorporação dos resíduos vegetais pelo revolvimento do solo (Figura 2).

Carvalho et al. (2010), estudando em solos sob vegetação do Cerrado no município de Montividiu – GO, observaram que de forma geral, os teores de C da vegetação nativa e na pastagem contínua foram superiores aos sistemas de lavoura contínua e ILP, com exceção da camada de 0 a 5 cm, onde não houve diferença entre os tratamentos. Loss (2011), em estudo no mesmo município, encontrou diferenças significativas nos teores de N total em SPD e ILP quando foram contrapostos à vegetação nativa do Cerradão, sendo este tratamento superior aos demais. Nos teores de C total, a vegetação nativa só não apresentou valores superiores na camada de 5 a 20 cm, onde a ILP foi superior. O autor atribuiu que o consórcio da braquiária mais milho safrinha propiciou a deposição de resíduos vegetais com alta relação C/N, o que confere uma decomposição mais lenta, favorecendo desta forma o acúmulo de C orgânico total.

O sistema de preparo do solo refletiu em mudanças no teor de C no perfil do solo, o SPD mostrou-se superior ao plantio convencional (PC), com exceção do tratamento S3P. Jantalia et al. (2007) observaram uma tendência do SPD em manter os teores de C e N mais elevados.

D'Andréa et al. (2004) estudaram a influência de mudanças no uso do solo em Goiás onde foram avaliadas uma área de Cerrado (*stricto sensu*), uma área de lavoura irrigada com preparo convencional do solo e sob sistema de plantio direto. Na ocasião, constataram que não houve diferenças significativas dos teores de C e N até 100 cm de profundidade, o que foi atribuído ao fato do curto período de adoção do sistema que não foi suficiente para que ocorressem alterações evidentes. Isto indica que sistemas conservacionistas tendem a apresentar incrementos nos teores de C e N totais quando implantados no longo prazo.

A conversão da vegetação do Cerrado para os distintos sistemas de manejo e uso do solo, de forma geral, conferiram ganhos nos teores de C e N ao longo de 20 anos nas primeiras profundidades. Já a manutenção destes teores em profundidade, pode ser associada às práticas de correção da acidez e fertilidade do solo, adotados na conversão do Cerrado em sistemas agrícolas.

5.3. Estoque de Carbono e Nitrogênio Totais no Solo

Os estoques de C e N sob a vegetação do Cerrado apresentaram valores de 86 e 5 Mg ha⁻¹ na profundidade de 0 a 40 cm e de 147 e 8,3 Mg.ha⁻¹ na camada de 0 a 100 cm, respectivamente (Figuras 4 e 5).

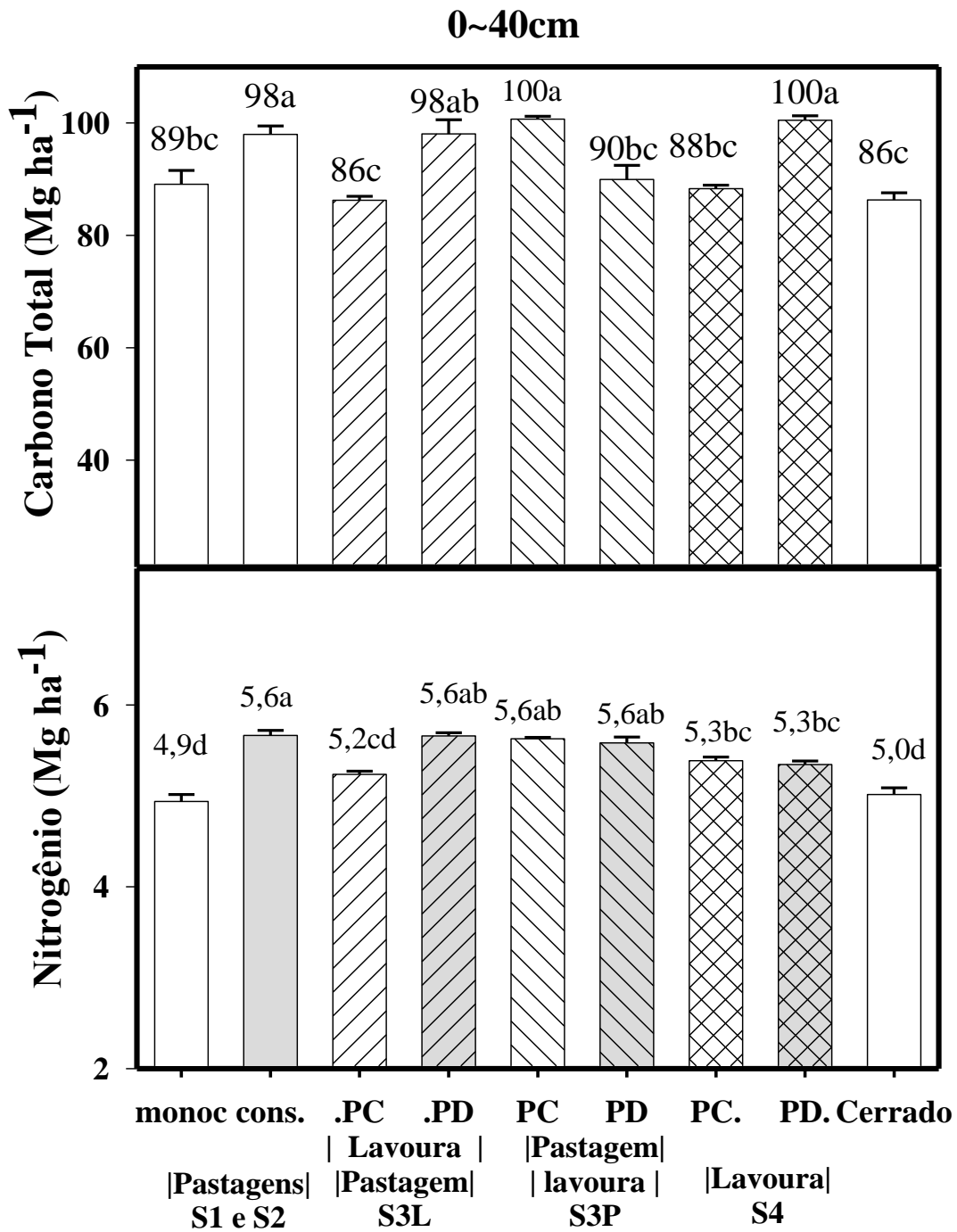
Estes dados foram inferiores àqueles encontrados sob vegetação de cerrado por Roscoe e Burmman (2003), quando avaliaram os estoques de C e N até 45 cm, com valores de 100 e 7 Mg ha⁻¹, respectivamente. Chapuis-Lardy et al. (2002) encontraram resultado semelhante para o estoque de C até 100 cm de profundidade, com 143 Mg C ha⁻¹.

Comparando à vegetação do Cerrado, os estoques de C até 40 cm de profundidade foram superiores nos tratamentos S2, S3LT2, S3PT1 e S4T2. Já os estoques de N, além destes tratamentos, os sistemas S3PT2 e S4T1 também apresentaram maiores estoques em relação à vegetação nativa.

Em uma área de Cerrado substituída por pastagem contínua em monocultivo de gramínea e consorciada com leguminosa, após 11 anos, observou-se um acúmulo de C e N no perfil do solo (0 a 40 cm) em relação à vegetação nativa (JANTALIA, 2005). Além disto, foram avaliados diferentes níveis de adubação, onde constatou-se que na pastagem consorciada a influência da leguminosa foi comparável ao adubo nitrogenado na pastagem em monocultivo (JANTALIA, 2005).

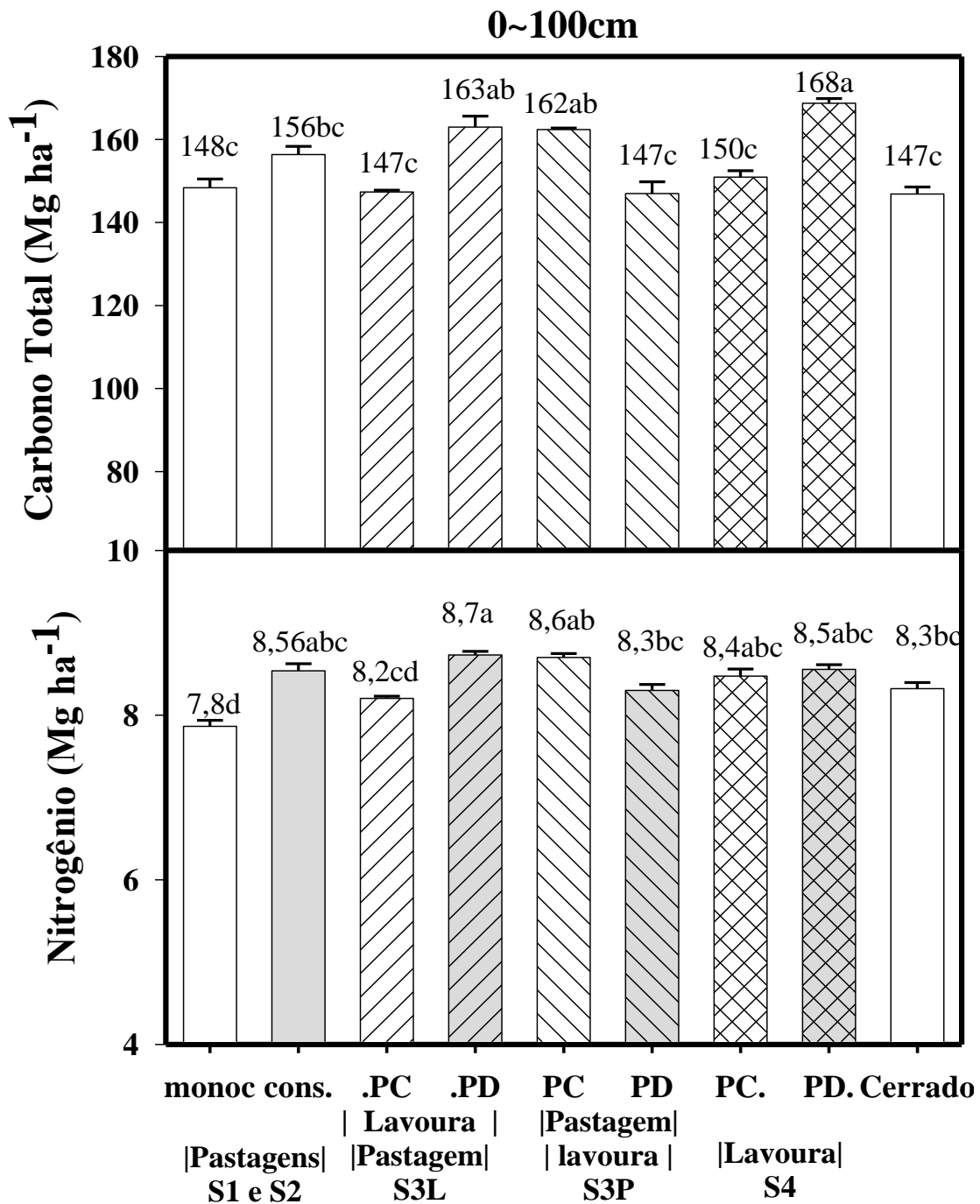
Uma área de 13 anos com sistemas de pastagem contínua, ILP e lavoura contínua com preparo convencional e sob o SPD, foram encontrados maiores estoques de C na área de Cerrado e lavoura contínua em relação aos demais sistemas na profundidade de 0 a 30 cm. Já o estoque de N da lavoura contínua não apresentou diferença significativa dos demais sistemas de cultivo do solo, e também não foram observadas mudanças nos estoques entre os SPD e plantio convencional (MARCHÃO et al., 2009).

Os ganhos proporcionados com a ILP são corroborados através da observação de um experimento de longo prazo em área de vegetação denominada como Cerradão no estado de Goiás, onde foram comparados os estoques de C e N desta vegetação com ILP e plantio contínuo de grãos sob SPD (LOSS, 2011). Constatou-se que o plantio contínuo de grãos obteve uma redução nos estoques de carbono e nitrogênio em relação à ILP, já a ILP foi inferior ao Cerrado na camada de 0 a 40 cm. Estes resultados apontaram que a ILP foi mais eficiente que apenas a utilização do SPD no incremento dos estoques de carbono e nitrogênio, além disso, esse sistema apresenta-se promissor para recuperar os estoques de C originais do solo através da deposição da serrapilheira oriunda dos cultivos de grãos e pastagem, mais os excrementos animais que adicionam C, N, P e K ao solo (LOSS, 2011).



Médias nas colunas seguida pela mesma letra não diferem entre si pelo teste t LSD de Student (P<0,05).

Figura 4. Estoque de carbono e nitrogênio no perfil de solo sob Cerrado nativo e sob diferentes sistemas, na profundidade de 0 a 40 cm.



Médias nas colunas seguida pela mesma letra não diferem entre si pelo teste t LSD de Student ($P < 0,05$).

Figura 5. Estoque de carbono e nitrogênio no perfil de solo sob Cerrado nativo e nos diferentes sistemas, na profundidade de 0 a 100 cm.

Dois experimentos localizados em distintas regiões no Cerrado foram avaliados, sendo um na cidade de Luziânia-GO (8 anos) e outro em Costa Rica-MS (5 anos); anteriormente à instalação dos experimentos as áreas foram cultivadas com grãos sob plantio convencional por 15 e 20 anos, respectivamente. Explorou-se o cultivo contínuo de grãos sendo a rotação da primeira área com soja/milho e na segunda com milho/soja

e algodão. Nestas áreas, avaliou-se o preparo convencional do solo, preparo reduzido e o sistema de plantio direto. Os sistemas foram comparados com áreas de Cerrado adjacentes. Na ocasião os autores encontraram maior estoque de C na camada de 0 a 20 cm no SPD, não se diferenciando dos demais tratamentos, porém superior à vegetação nativa (Área 1). Nesta área também foi observada a influência da cobertura do solo proporcionada pela palhada que atenuou os efeitos erosivos do solo quando comparado aos sistemas com revolvimento do solo. Na área 2 houve diferença significativa do SPD no ganho de massa C no perfil do solo em relação ao Cerrado e demais sistemas (BAYER et al., 2006).

Neste estudo, quando a avaliação foi realizada até 100 cm de profundidade, apenas os estoques de C dos tratamentos S3LT2, S3PT1 e S4T2, foram superiores em relação ao Cerrado, estes apresentaram ganhos de 16, 15 e 21 Mg C total.ha⁻¹. Já o estoque de N, de 0 a 100 cm, apenas no sistema S3LT2 foi significativamente superior ($P < 0,05$), com incremento de 0,4 Mg N ha⁻¹ (Figura 5).

O sistema S1 não apresentou diferença significativa nos estoques de C e N na camada de 0 a 40 cm (Figura 4). No entanto, quando a avaliação foi realizada até 100 cm, houve uma redução significativa no estoque de N total de 0,5 Mg N.ha⁻¹ no perfil do solo. Dados semelhantes foram encontrados por Roscoe et al. (2001), que não encontraram diferenças nos estoques de C da área sob a vegetação do Cerrado ao comparar com uma pastagem de braquiária de 23 anos em um Latossolo de textura argilosa.

O incremento observado nos tratamentos da ILP pode ser decorrente das características do material vegetal depositado, um com alta relação C/N, o que permite uma decomposição mais lenta dos resíduos. Além disto, a adição dos restos culturais da soja, que possui uma baixa relação C/N, possibilita a formação de compostos orgânicos humificados com o incremento de N ao sistema. Já o SPD, através do não revolvimento do solo, permite um menor ataque microbiano à MOS acumulada nos agregados do solo.

O efeito dos diferentes sistemas de manejo e uso sobre a dinâmica do C e N no perfil do solo pode ser melhor entendido quando a avaliação alcança profundidades abaixo de 40 cm. A amostragem superficial pode não representar a entrada de C e N das plantas que exploram o solo em maior profundidade, subestimando o acúmulo de C e N que os sistemas podem provocar em maiores profundidades.

Jantalia (2005) avaliou sistemas de ILP e lavoura contínuos sob SPD e PC. Comparando-se ao Cerrado, até a profundidade de 100 cm, constatou que os estoques de C e N foram superiores nos sistemas mais conservacionistas da MOS, sobressaindo os tratamentos da ILP independente do sistema de preparo do solo e lavoura contínua sob SPD.

Carvalho et al. (2010) disseram que o estoque de C total na camada de 0 a 40 cm foi superior na área de Cerrado e ILP quando comparado à produção contínua de grãos em SPD. Na ocasião, os autores atribuíram esta diferença seria dada pela não utilização da braquiária no sistema de lavoura contínua, esta além de propiciar deposição de resíduos vegetais de decomposição mais lenta, por apresentar maior relação C/N, o aporte de matéria orgânica é favorecido pelo sistema radicular da forrageira, bem desenvolvido e distribuído no solo.

O tratamento S3PT2 não apresentou diferenças significativas nos estoques de C e N até a profundidade de 100 cm. Os dados instigam uma melhor avaliação da implantação do SPD nos solos do Cerrado, estes possuem baixa fertilidade natural e elevada acidez. Pode-se inferir que para melhor correção destes atributos torna-se

necessário a utilização do PC por um tempo hábil para que possa haver melhor distribuição de calcário e fertilizantes minerais no perfil do solo.

Esta afirmativa pode ser corroborada com a análise química do solo, onde no PC houve uma melhor distribuição de Ca, Mg, K e P até 40 cm de profundidade. Comparando-se à análise de fertilidade do solo sob o tratamento S3PT2, onde o SPD só foi adotado após 5 anos do início da exploração do Cerrado, observa-se uma melhor distribuição dos nutrientes minerais no perfil do solo (0 a 40 cm) (Tabela 7).

5.4. Abundância Natural de ^{13}C no Perfil do Solo

A composição isotópica na área do Cerrado variou de -23 a -20,7 ‰ (0 a 100 cm) (Figura 6) o que aponta a correlação com a fitofisionomia da vegetação nativa, onde pode ser observado um predomínio de plantas de ciclo fotossintético C_3 associado a incidência de gramíneas, ciclo C_4 , endêmicas do bioma. Carvalho et al. (2010) encontraram valores semelhantes em Cerrado *stricto sensu* no município de Montividiu – GO, onde foi explicitado, até a profundidade de 30 cm, valores de -21,9 a -18,3 ‰. Em uma área experimental da Embrapa Cerrado, observou-se até a profundidade de 100 cm uma variação isotópica de -22,7 para -20,5 ‰ (JANTALIA, 2005).

Loss (2011) encontrou valores do $\delta^{13}\text{C}$ variando entre -26,26 a -23,02 ‰ em estudo de área de Cerradão no estado de Goiás, nos intervalos de 0 a 10 e 80 a 100 cm, respectivamente. Valores semelhantes foram apresentados em avaliações com mesma classificação fitofisiológica em Minas Gerais, onde o $\delta^{13}\text{C}$ apresentou valores de -27 ‰ na camada de 0 a 5 cm e de -24 ‰ na camada de 80 a 100 cm (ROSCOE et al., 2001).

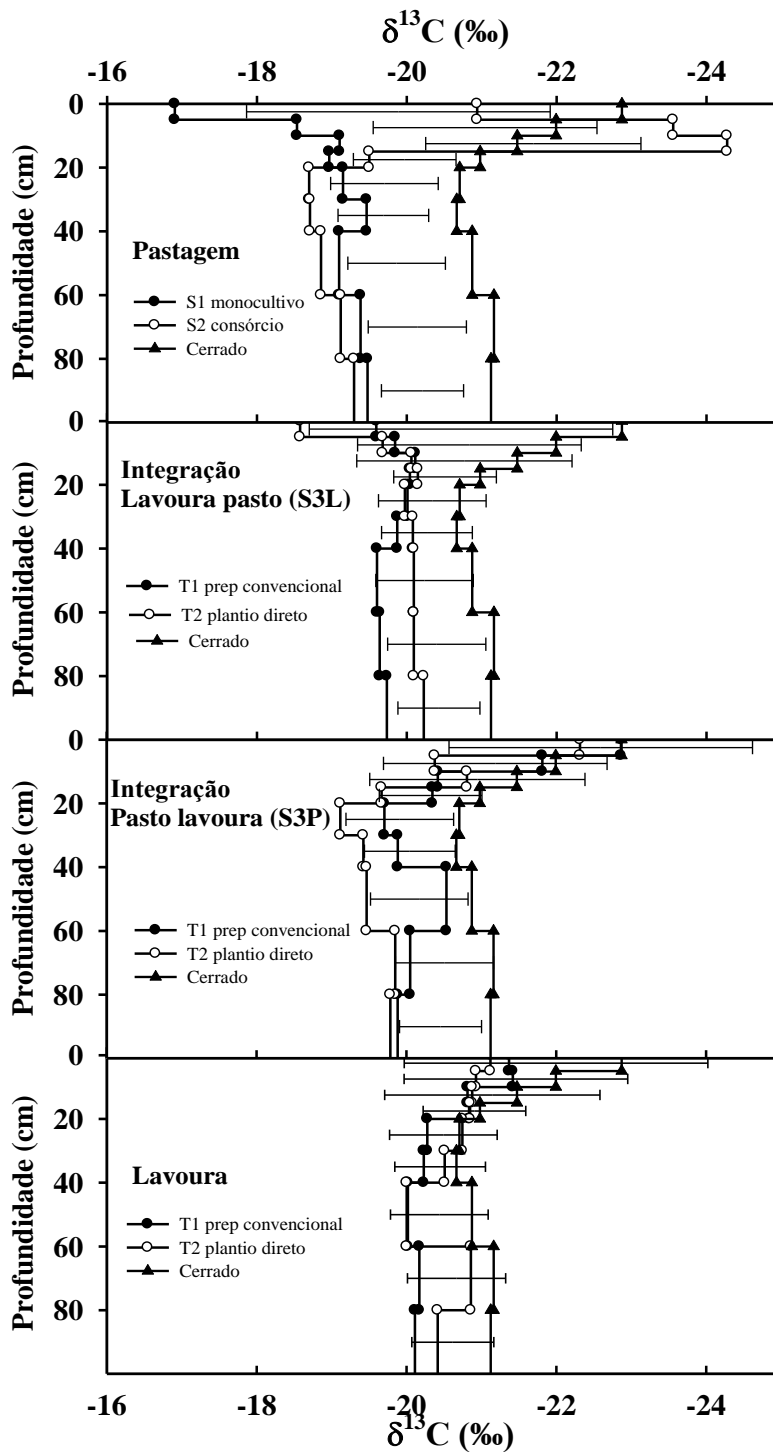
Nas áreas de pastagem contínua, a presença da leguminosa no sistema S2 foi destacada, principalmente, na camada de 0 a 20 cm, percebe-se a grande influência da presença de cobertura vegetal de plantas do ciclo fotossintético C_3 . Na camada de 5 a 15 cm os valores do $\delta^{13}\text{C}$ foram de -23,7 e -24,3‰, estes valores mais negativos pode ser consequente da presença das raízes secundárias da leguminosa. Com relação ao tratamento sob monocultivo de gramínea, nota-se uma diferença de aproximadamente 7 $\delta^{13}\text{C}$, esta diferença é atenuada a partir de 20 cm de profundidade, onde se predomina a influência da vegetação C_4 , gramínea. A abundância de $\delta^{13}\text{C}$ no perfil do solo sob as pastagens contínuas diferencia-se em todo o perfil em relação ao Cerrado, com exceção do sistema S2 até 20 cm (Figura 6).

Conforme o esperado, o sistema de lavoura contínua não apresentou diferenças significativas quando comparado ao Cerrado em todas as profundidades (Figura 6). Jantalia (2005) obteve a mesma observação em lavoura contínua no Cerrado

Roscoe et al. (2001) avaliaram uma área de pastagem de longo prazo, 23 anos, e observaram alterações no $\delta^{13}\text{C}$ até 100 cm de profundidade em relação à vegetação nativa do Cerrado, o que aponta a uma alta taxa de renovação que sugere uma dinâmica da MOS intensa.

Na ILP, não foi observado um comportamento uniforme, já que houve mistura de cultivos de plantas do ciclo fotossintético C_3 e C_4 (Figura 6). Dados similares foram observados por Jantalia (2005).

Carvalho et al. (2010) avaliando área de Cerrado *stricto sensu*, encontraram pequenas variações no $\delta^{13}\text{C}$ na ILP com 8 anos de implantação, em relação ao solo sob a vegetação nativa. Os autores encontraram no Cerrado valores de $\delta^{13}\text{C}$ variando de -21,9 a -18,3 na profundidade de 0 - 30 cm. Na ILP estes valores oscilaram de -19,1 a -15,7, o que pode sugerir uma mistura de C de plantas de ciclo fotossintético C_3 e C_4 .



┌ DMS – Diferença mínima significativa entre os sistemas pelo teste LSD (P<0,05).

Figura 6. Abundância natural de ^{13}C no perfil de solo sob o Cerrado, pastagens contínuas, integração lavoura-pecuária e lavoura contínua em Planaltina – DF.

5.5. Estimativa da proporção de carbono da Matéria Orgânica do Solo Derivada da Vegetação Nativa

Dos sistemas avaliados, o tratamento S1 apresentou maior porcentagem C-C₄ nas primeiras profundidades, houve uma variação de 54,9 a 22,4% na camada de 0 a 20 cm, reduzindo com a profundidade (Tabela 8).

Tabela 8. Abundância natural de ¹³C e conteúdo de C total do solo (0-100 cm) sob pastagem contínua em monocultivo de gramínea após 20 anos.

Sistema	Prof. (cm)	$\delta^{13}\text{C}$ do solo	% C derivado de:		C Total Mg C ha ⁻¹	Mg C ha ⁻¹ derivado	
			C ₃	C ₄		C ₃	C ₄
S1	0-5	-16,91	45,1	54,9	17,0	7,7	9,3
	5-10	-18,54	65,4	34,6	15,2	9,9	5,3
	10-15	-19,10	71,1	28,9	14,1	10,0	4,1
	15-20	-18,97	77,6	22,4	12,1	9,4	2,7
	20-30	-19,15	82,1	17,9	19,4	15,9	3,5
	30-40	-19,46	86,1	13,9	16,5	14,2	2,3
	40-60	-19,10	80,0	20,0	23,3	18,6	4,7
	60-80	-19,38	83,2	16,8	20,0	16,6	3,4
	80-100	-19,48	84,3	15,7	10,9	9,1	1,7
Total					148,4	111,5	36,8

No sistema S2 foi observado menor participação da C-C₄ nas primeiras profundidades, porém houve um significativo aumento a partir de 20 cm. Esta informação permite inferir que o ingresso de N da leguminosa favoreceu a decomposição da MOS na superfície pelos resíduos e em subsuperfície foram as raízes que favoreceram o acúmulo de C (Tabela 9).

Tabela 9. Abundância natural de ¹³C e conteúdo de C total do solo (0-100 cm) sob pastagem contínua de gramínea consorciada com leguminosa após 20 anos.

Sistema	Prof. (cm)	$\delta^{13}\text{C}$ do solo	% C derivado de:		C Total Mg C ha ⁻¹	Mg C ha ⁻¹ derivado	
			C ₃	C ₄		C ₃	C ₄
S2	0-5	-20,94	82,2	17,8	18,5	15,2	3,3
	5-10	-23,56	100,0	0,0	15,2	15,2	0,0
	10-15	-24,27	100,0	0,0	15,2	15,2	0,0
	15-20	-19,50	83,5	16,5	11,8	9,9	1,9
	20-30	-18,70	76,9	23,1	20,9	16,1	4,8
	30-40	-18,71	77,4	22,6	17,1	13,2	3,9
	40-60	-18,86	77,3	22,7	25,1	19,4	5,7
	60-80	-19,12	80,2	19,8	18,8	15,1	3,7
	80-100	-19,30	82,2	17,8	13,6	11,2	2,4
Total					156,4	130,6	25,8

A técnica desenvolvida por Cadisch & Giller (1996) permite discernir o C-C₃ da vegetação nativa daquele oriundo da leguminosa utilizada no consórcio da pastagem. A premissa básica deste estudo consiste em que a mesma área possua uma pastagem em

monocultivo de gramínea com manejo semelhante de forma a servir como referência. Para tal, considera-se que a taxa de decomposição da MOS original foi a mesma nas duas pastagens. Assim os resultados sob consórcio de braquiária com leguminosas (S2) foi recalculado e encontram-se na tabela 10.

Tabela 10. Abundância natural de ^{13}C , conteúdo de C total no solo e estimativas do C derivado da matéria orgânica da vegetação nativa, da gramínea (C4) e da leguminosa forrageira (C3) (0-60 cm), sob pastagem após 20 anos.

Manejo/ Rotação	Intervalo (cm)	Total C (Mg ha ⁻¹)	$\delta^{13}\text{C}$ do solo (‰)	Mg C ha ⁻¹ derivado de:		
				MOS nativa	Leguminosa	Braquiária
S2	0-5	18,5	-20,94	7,7	7,6	3,3
	5-10	15,2	-23,56	9,9	5,3	0,0
	10-15	15,2	-24,27	10,0	5,2	0,0
	15-20	11,8	-19,50	9,4	0,5	1,9
	20-30	20,9	-18,70	15,9	0,2	4,8
	30-40	17,1	-18,71	13,2	0,0	3,9
	40-60	25,1	-18,86	14,2	5,2	5,7
	Total				80,4	23,9

Avaliando os resultados da tabela 10, observa-se que em relação à pastagem em monocultivo, no consórcio com leguminosas (S2) houve uma substituição total do C original por 23,9 Mg ha⁻¹ de C derivado da leguminosa até 60 cm de profundidade. Jantalia (2005) encontrou uma substituição do C-C₃ proveniente da leguminosa de 12,0 e 9,7 Mg ha⁻¹ em uma pastagem consorciada de 11 anos com menor e maior dose de adubação, respectivamente.

Assim, considerando-se os resultados da tabela 9, onde foi observado que em S2 a incorporação de C-C₄ foi de 25,8 Mg C ha⁻¹ até 100 cm, somando os 23,9 Mg C derivados exclusivamente das leguminosas utilizadas no consórcio, encontramos que a renovação de C foi de 49,7 Mg C ha⁻¹ nos 20 anos de duração do experimento na camada de 0-100 cm, o que representa 31,80% do estoque de C total. A contribuição do C-C₃ da leguminosa forrageira influenciou o estoque de C até 60 cm de profundidade, a partir desta camada de solo não foi observado C proveniente da mesma.

Na ILP, rotação iniciada com lavoura, o SPD resultou em maior conservação do C original em detrimento ao PC, estes tratamentos apresentaram estoques de C original de 140,1 e 124,8 Mg C ha⁻¹, respectivamente. No entanto, não houve diferença na entrada de C recente entre os distintos preparo do solo, onde no SPD houve um ingresso de 22,9 Mg C ha⁻¹ e de 22,5 Mg C ha⁻¹ do PC (Tabela 11). Os dados apontam que nestas condições experimentais não houve acentuada diferença do SPD ante ao PC em acumular/manter o C no solo.

No ILP na rotação iniciada com pastagem foi observado que o preparo convencional apresentou considerável preservação do C-C₃, onde apresentaram valores de 150 e 127,1 Mg C ha⁻¹ no PC e PD, respectivamente (Tabela 12).

A mistura de plantas com distintos ciclos fotossintéticos pode dificultar a interpretação dos resultados, pois na sucessão lavoura/pasto, durante a ocupação com lavoura tem-se a rotação de plantas do ciclo C₃ (soja) e C₄ (milho, milheto e sorgo). No entanto é importante observar a incorporação de C₄, pois nos sistemas de integração lavoura pecuária, foram 8 anos sob brachiária (C₄) no S3L e 13 anos sob pasto de

brachiária em S3P. Esta foi a principal razão de se comparar os resultados entre manejo do solo em cada sistema de integração e não entre sistemas, por apresentarem históricos distintos de ocupação por brachiária. Carvalho et al. (2010) encontraram dificuldades em interpretar os resultados na ILP, quando depararam-se com uma rotação de C₃ (soja e algodão) e C₄ (braquiária, milho, milheto e sorgo).

Tabela 11. Abundância natural de ¹³C e conteúdo de C total do solo (0-100 cm) sob integração lavoura-pasto após 20 anos da substituição do Cerrado nativo.

Sistema	Prof. (cm)	$\delta^{13}\text{C}$ do solo	% C derivado de:		C Total Mg C ha ⁻¹	Mg C ha ⁻¹ derivado:	
			C ₃	C ₄		C ₃	C ₄
S3LPC	0-5	-19,59	69,8	30,2	15,2	10,6	4,6
	5-10	-19,84	78,5	21,5	15,6	12,2	3,4
	10-15	-20,11	81,2	18,8	15,1	12,2	2,8
	15-20	-20,04	89,6	10,4	12,3	11,0	1,3
	20-30	-20,01	92,0	8,0	19,6	18,1	1,6
	30-40	-19,87	90,8	9,2	16,5	15,0	1,5
	40-60	-19,60	85,7	14,3	23,2	19,9	3,3
	60-80	-19,64	86,1	13,9	20,0	17,2	2,8
	80-100	-19,73	87,2	12,8	9,8	8,6	1,3
	Total			147,3	124,8	22,5	
S3LPD	0-5	-18,58	60,5	39,5	19,0	11,5	7,5
	5-10	-19,68	76,8	23,2	14,3	11,0	3,3
	10-15	-20,06	80,7	19,3	13,0	10,5	2,5
	15-20	-20,15	90,7	9,3	11,4	10,4	1,1
	20-30	-19,98	91,6	8,4	21,3	19,5	1,8
	30-40	-20,08	93,3	6,7	17,2	16,0	1,2
	40-60	-20,09	91,2	8,8	26,8	24,4	2,4
	60-80	-20,09	91,2	8,8	22,5	20,5	2,0
	80-100	-20,23	92,7	7,3	17,5	16,2	1,3
	Total			163,0	140,1	22,9	

Tabela 12. Abundância natural de ^{13}C e conteúdo de C total do solo (0-100 cm) sob integração pasto lavoura após 20 anos da substituição do Cerrado nativo.

Sistema	Prof. (cm)	$\delta^{13}\text{C}$ do solo	% C derivado de:		C Total Mg C ha ⁻¹	Mg C ha ⁻¹ derivado:	
			C ₃	C ₄		C-3.	C ₄
S3PPC	0-5	-22,87	99,9	0,1	16,8	16,8	0,0
	5-10	-21,81	98,2	1,8	15,6	15,3	0,3
	10-15	-20,42	84,3	15,7	15,0	12,7	2,4
	15-20	-20,35	93,0	7,0	14,4	13,4	1,0
	20-30	-19,71	88,5	11,5	22,6	20,0	2,6
	30-40	-19,89	91,0	9,0	17,6	16,0	1,6
	40-60	-20,54	96,2	3,8	25,4	24,4	1,0
	60-80	-20,05	90,7	9,3	21,6	19,6	2,0
	80-100	-19,88	88,8	11,2	13,5	12,0	1,5
	Total			162,4	150,0	12,3	
S3PPD	0-5	-22,32	94,9	5,1	17,4	16,5	0,9
	5-10	-20,38	83,8	16,2	13,6	11,4	2,2
	10-15	-20,81	88,1	11,9	12,6	11,1	1,5
	15-20	-19,67	85,4	14,6	12,5	10,7	1,8
	20-30	-19,12	81,8	18,2	21,0	17,2	3,8
	30-40	-19,43	85,7	14,3	18,3	15,7	2,6
	40-60	-19,47	84,2	15,8	23,4	19,7	3,7
	60-80	-19,85	88,5	11,5	17,2	15,2	2,0
	80-100	-19,79	87,8	12,2	10,9	9,6	1,3
	Total			147,0	127,1	19,9	

Assim como nos demais sistemas onde houve preparo convencional do solo e SPD, o tratamento lavoura contínua (S4) houve maior preservação do C original no SPD do que quando há revolvimento do solo PC (Tabela 13). O preparo do solo tende a destruir os agregados do solo, permitindo desta forma maior exposição da MOS aos fatores oxidativos. No entanto, vale ressaltar que os dados apresentados no presente estudo permitem uma recomendação do preparo convencional do solo nos primeiros anos de cultivo para que o solo do Cerrado possa ser corrigido em profundidade. Além disto, os dados contidos na tabela 13 demonstram que o C-C₄ acumulado durante os 20 anos no preparo convencional do solo, após a retirada da vegetação nativa não apresentou acentuada diferença em relação ao SPD, observando-se uma entrada de C recente de 14,5 e 13,1 Mg C ha⁻¹ no PC e SPD, respectivamente até 100 cm de profundidade.

Tabela 13. Abundância natural de ^{13}C e conteúdo de C total do solo (0-60 cm) sob lavouras sob PD e PC após 20 anos da substituição do Cerrado nativo.

Sistema	Prof. (cm)	$\delta^{13}\text{C}$ do solo	% C derivado de:		C Total Mg C ha ⁻¹	Mg C ha ⁻¹ derivado:	
			C ₃	C ₄		C-3.	C ₄
S4PC	0-5	-21,37	86,2	13,8	13,9	12	1,9
	5-10	-21,42	94,3	5,7	15,2	14,4	0,9
	10-15	-20,81	88,2	11,8	15	13,3	1,8
	15-20	-20,84	98,4	1,6	12,5	12,3	0,2
	20-30	-20,28	92,2	7,8	19,3	17,7	1,5
	30-40	-20,23	91,7	8,3	16,3	15	1,4
	40-60	-20,02	89,3	10,7	25,3	22,6	2,7
	60-80	-20,17	89,2	10,8	20,3	18,2	2,2
	80-100	-20,11	88,9	11,1	16,7	14,8	1,9
	Total			154,5	140,3	14,5	
S4PD	0-5	-21,12	83,9	16,1	20,1	16,9	3,2
	5-10	-20,93	89,3	10,7	15,9	14,2	1,7
	10-15	-20,88	88,8	11,2	11,3	10	1,3
	15-20	-20,85	98,6	1,4	13,7	13,5	0,2
	20-30	-20,75	97,4	2,6	24,6	24	0,6
	30-40	-20,51	94,8	5,2	19,4	18,4	1,0
	40-60	-20,00	89,1	10,9	27,5	24,5	3,0
	60-80	-20,85	96,7	3,3	22,7	22,0	0,7
	80-100	-20,41	92,2	7,7	18,3	16,9	1,4
	Total			173,5	160,4	13,1	

Diante dos resultados apresentados de um experimento de 20 anos em solo nas condições edafoclimáticas do Cerrado nativo, nota-se que os sistemas agrícolas que priorizam a conservação da MOS através do não revolvimento do solo aliado à rotação/sucessão de cultivos com espécies vegetais com diferentes relações C/N tendem a preservar e/ou acumular matéria orgânica no perfil do solo.

Porém, deve-se considerar que a implantação do plantio direto requer especial atenção às práticas de correção da fertilidade e acidez do solo no início de seu estabelecimento, fundamental para garantir uma manutenção da capacidade produtiva de forrageiras e grãos, que permitam a manutenção da incorporação de material orgânico ao solo tanto pelos resíduos quanto pelo crescimento radicular.

6. CONCLUSÕES

O estoque de C do tratamento de pastagem contínua em monocultivo de gramínea não se diferenciou significativamente do solo sob a vegetação do Cerrado em 20 anos. Nesse período, o solo perdeu $0,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de nitrogênio no perfil de 0 a 100 cm. A lavoura contínua com preparo convencional do solo não apresentou diferenças significativas no conteúdo de C em relação ao solo sob a vegetação nativa (0 a 100 cm).

Após 20 anos da substituição da vegetação do Cerrado, os sistemas que apresentaram maior potencial em acumular e ou manter o estoque de C e N no perfil do solo foram os tratamentos integração lavoura pecuária com rotação iniciada com lavoura sob o sistema de plantio direto, integração lavoura pecuária com rotação iniciada com pastagem com preparo convencional do solo, e lavoura contínua sob o sistema de plantio direto.

Os sistemas de pastagens com braquiária em monocultivo e consorciado com leguminosas, incorporaram 25% e 32% de C derivado dos resíduos, no estoque de C total no perfil do solo (0-100 cm), respectivamente. Na pastagem consorciada as raízes das leguminosas tiveram uma considerável participação no estoque de C.

No sistema de lavoura de grãos contínuo e na integração lavoura pecuária com a rotação iniciada com lavoura, o sistema plantio direto permitiu a maior preservação de C oriundo de plantas C_3 , indicando que a redução no revolvimento do solo foi importante para o incremento de C total no perfil do solo (0-100 cm).

A ILP e SPD podem ser adotados como sistemas conservacionistas da matéria orgânica no solo, sendo necessária a adequada correção da fertilidade e acidez do solo para adequada manutenção da produção agropecuária no longo prazo.

**7. CAPÍTULO II: EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS
CONTÍNUOS E INTEGRADOS DE PRODUÇÃO DE GRÃOS E ANIMAL
EM UMA ÁREA EXPERIMENTAL REPRESENTATIVA DO
CERRADO: ESTUDO DE CASO.**

RESUMO

SÁ, Jerusa Maia e. **Eficiência energética em sistemas contínuos e integrados de produção de grãos e animal em uma área experimental representativa do Cerrado: estudo de caso.**

O trabalho foi realizado em uma área experimental da Embrapa Cerrados, localizada no município de Planaltina-DF, onde o Cerrado nativo foi convertido em diferentes sistemas de manejo e uso do solo. Os tratamentos avaliados foram: pastagem contínua em monocultivo de gramíneas; pastagem contínua de gramínea consorciada com leguminosa; integração lavoura-pecuária e produção contínua de grãos sob sistema de plantio direto e sistema convencional de preparo de solo. Este capítulo teve como objetivo avaliar a eficiência energética dos sistemas agrícolas e sua capacidade produtiva de bioenergia, considerando um experimento de longo prazo. Para isso foram utilizados os dados dos diferentes insumos que foram utilizados em todo o experimento como entrada de energia. Também foram utilizados os resultados disponíveis de produção de grãos e carne, sendo estes considerados como saída. Do ponto de vista energético, todos os sistemas apresentaram-se eficientes. A pastagem consorciada apresentou maior eficiência energética na produção animal quando compara a pastagem em monocultivo. Na integração lavoura-pecuária o preparo convencional do solo apresentou maior conversão energética que o sistema de plantio direto. A eficiência energética apresentou menores valores nos sistemas contínuos de produção de grãos, com maiores com índices no sistema de plantio direto quando comparado ao preparo convencional do solo. Na produção de bioenergia, a cultura do milho mostrou-se mais eficiente na conversão energética quando comparado com a soja. O sistema de plantio direto apresentou melhor eficiência energética que o sistema de preparo convencional do solo em todos os tratamentos onde os grãos foram destinados a produção de biocombustíveis. A integração lavoura-pecuária pode ser recomendada para exploração de culturas energéticas na região do Cerrado brasileiro e quando associada ao sistema de plantio direto pode trazer ganhos na qualidade do solo e redução nos custos energéticos e ambientais em decorrência dos benefícios que uma atividade proporciona à outra.

Palavras chave: Integração lavoura-pecuária, sistemas agrícolas, biocombustíveis.

ABSTRACT

SÁ, Jerusa Maia e. **Energy efficient systems and integrated continuous production of grains and animal in an experimental area representative Cerrado: case study.**

The study was conducted in an experimental área of Embrapa Cerrados, located in the municipality of Planaltina – DF, where the native Cerrado was converted into different management systems and land use. The treatments were: continuous grazing grass-only, mixed grass/legume, crop-livestock integration and continuous production of grains under no-tillage and conventional soil tillage. This chapter aimed to evaluate the energy efficiency of farming systems and production capacity of bio-energy, considering a long-term experiment. For this we used data of different inputs that were used throughout the experiment as input energy. Also used were the results available for the production of grain and meat, which are considered as output. From the energy point of view, all systems had to be efficient. The continuous pasture mixed grass/legume had a higher energy efficiency when compared to pasture in monoculture. In crop-livestock to conventional tillage showed higher conversion efficiency than the no-tillage system. Energy efficiency showed lower values in a continuous system of grain production, with higher rates with the no-tillage compared to conventional tillage. In the production of bioenergy, maize was more efficient in energy conversion compared with soybeans. The no-tillage system showed better efficiency than the conventional tillage of the soil in all treatments where the beans were intended for production of biofuels. The crop-livestock can be recommended for exploration of energy crops in the Cerrado region of Brazil and when associated with no-tillage system can bring gains in soil quality reduced energy costs and environmental benefits as a result of an activity provides the other.

Key words: crop-livestock integration, agricultural system, biofuels.

8. INTRODUÇÃO

A região do Cerrado constitui o maior celeiro da produção agrícola brasileira e um dos maiores do mundo, apresentando aptidão para o desenvolvimento de programas de exploração de culturas agroenergéticas renováveis, com potencialidade de destacar o país na geração e implantação de tecnologias limpas e viáveis (SOARES et al., 2007). As fontes energéticas renováveis possuem grande capacidade de atender o aumento da demanda energética mundial, entretanto, premissas como a viabilidade econômica, oferta de recursos renováveis e a sustentabilidade de cada fonte devem ser atendidas. Com este objetivo o Plano Nacional de Agroenergia visa organizar e desenvolver propostas de pesquisa, desenvolvimento, inovação e transferência de tecnologia para garantir sustentabilidade e competitividade às cadeias de agroenergia (BRASIL, MAPA, 2006). Este Plano propõe que sejam elaborados os balanços de energia em toda a cadeia produtiva, para que não se anule os efeitos positivos que preconizam a sustentabilidade ambiental e econômica dos produtos que substituem fontes de energias fósseis por renováveis (BRASIL, MAPA, 2006).

No entanto, políticas nacionais direcionadas à exploração de culturas agroenergéticas, podem levar a uma reincidência do monocultivo no Cerrado e todos seus impactos negativos. Vale ressaltar que os preços do biocombustível e de alimentos derivados dos grãos podem competir no mercado; como o exemplo de competição existente entre a produção açucareira e do etanol de cana-de-açúcar no Brasil. As emissões de CO₂ (gCO₂/MJ) comportam de forma contrastante aos valores da relação de entrada e saída de energia para a produção de biocombustíveis (SCHARMER e GOSSE, 1996). Além disto, os impactos ambientais resultantes da produção agrícola tendem a diminuir a eficiência energética. Esta pode ser vista como uma ferramenta para delinear sistemas mais sustentáveis dos pontos de vista econômico, social e ambiental.

Um dos benefícios que a exploração de culturas energéticas pode trazer consiste na incorporação de zonas marginais através do domínio e inserção de novas tecnologias. Ocupação de áreas de pastagens degradadas que, com a inclusão da integração lavoura-pecuária (ILP), pode levar à recuperação destes nichos. A ILP pode ainda trazer benefícios ao considerar a possibilidade de exploração de múltiplos cultivos em um mesmo ano agrícola. A intensificação do sistema safrinha, cultivo de inverno e duplo cultivo de verão, principalmente quando preconiza a utilização de culturas menos exigentes em recursos hídricos, viabilizam o desenvolvimento da agricultura energética e amortiza os custos (BRASIL, MAPA, 2006).

Levantamentos da International Energy Agency (IEA, 2011) demonstram que do total de combustível utilizado no setor de transporte no Brasil, 21% provém dos biocombustíveis, nos Estados Unidos somam 4% e na União Européia 3%. Nos últimos 10 anos, a exploração dos biocombustíveis tem tido um crescimento estável, com destaque para o Brasil, Estados Unidos e, recentemente, União Européia e Sudeste Asiático. A produção global saiu de cerca de 16 bilhões de litros em 2000 para 100 bilhões em 2010. Apesar deste acentuado crescimento, somente 3% do consumo mundial de combustíveis rodoviários são supridos pelos biocombustíveis.

Estes dados evidenciam o crescente investimento dos governos em tecnologias limpas para obtenção de energia. Somente no Brasil, houve um gasto estimado em 90 milhões de dólares entre os anos de 2009 e 2010 (IEA, 2011). A matriz energética brasileira é uma das mais limpas no mundo (BRASIL, MAPA, 2006), que além do sucesso da inserção dos programas bioenergéticos, possui 76,9% da oferta de energia

total disponibilizada proveniente da hidroeletricidade, 5,4% de biomassa e 0,2% da energia eólica (BRASIL, MME, 2010). Aliado à riqueza de mananciais hídricos, o Brasil possui radiação solar em abundância que justificaria investimentos no mercado da agricultura de energia e destacaria ainda mais o país na vanguarda do desenvolvimento de tecnologias limpas para a obtenção de energia renovável.

A partir da década de 60, iniciou-se a modernização da agricultura brasileira, fundamentada no aumento da produtividade, com conseqüente incremento no gasto energético (ROMANELLI, 2002), através da utilização de insumos, processos mecânicos e novas variedades de plantas. Essa modernização tem estimulado estudos quanto à importância da eficiência energética da produção em algumas culturas (COMITRE, 1995). Houve ainda, uma crescente dependência tecnológica e econômica do país por não possuir autosuficiência de recursos para a produção desses insumos.

Braga et al. (2008) relataram que a utilização de energia fóssil levou a população mundial, primeiramente, a uma crise ambiental proporcionada pela queima de combustíveis fósseis que liberam gases de efeito estufa (GEE), e uma crise energética por se tratar de recursos naturais não-renováveis. Outra problemática associada deve-se aos impactos que os custos do petróleo transmitem a toda cadeia produtiva de alimentos.

Este cenário tem levado a intensas pesquisas por fontes alternativas de energia que não sejam poluentes, como o desenvolvimento de tecnologia para exploração econômica da biomassa e da bioenergia. O interesse cada vez maior por fontes de energia renováveis tem como destaque as culturas agrícolas de grande potencial energético. Estas novas explorações possuem vantagens econômicas, pela redução da dependência do país aos recursos externos através da substituição do diesel mineral pelo biodiesel. No aspecto social, destaca-se a ampliação da área plantada e maior disponibilidade de trabalho e renda para o meio rural (BRAGA et al., 2008) e na questão ambiental, pela possível mitigação nas emissões de GEE, principalmente o CO₂ (URQUIAGA et al., 2005). No entanto, a utilização dessas demanda que o balanço energético seja positivo para melhor proveito dos componentes do processo produtivo.

O balanço energético de um biocombustível relaciona a energia presente no biocombustível ao final e o total de energia fóssil consumida em todo seu processo de produção, incluindo a etapa agrícola e industrial (URQUIAGA et al., 2005). Para uma completa estimativa do balanço energético deve-se considerar a energia consumida em toda cadeia produtiva, que consta desde a fabricação de todos os insumos e maquinários, às práticas de manejo e o transporte do produto até o sítio do seu processamento (GAZZONI et al., 2006).

Determinar o balanço energético é um elemento chave para as tomadas de decisões relativas à redução dos custos de produção com uso energético intensivo, através da economia de energia e aumento na eficiência dos insumos pela adoção de novas técnicas e manejos agropecuários (CAMPOS & CAMPOS, 2004).

Neste contexto, faz-se necessário a obtenção de informações específicas da análise energética para as espécies vegetais, descrevendo os fluxos de energia e seu funcionamento para determinar o grau de eficiência energética através de medidas parciais relacionando a terra, o trabalho ou o capital (DE MORI, 1998).

Odum (1984) destacou a importância de medir os fluxos e as quantidades de energia gasta em cada etapa da produção para a análise do balanço energético. Este mesmo autor afirma que todos os ecossistemas e organismos são sistemas termodinâmicos abertos, fora do ponto de equilíbrio, que trocam continuamente energia e matéria com o meio no intuito de diminuir a entropia interna e, desta forma, aumentar a entropia externa, obedecendo às leis da termodinâmica.

A primeira lei da termodinâmica (lei da conservação de energia) diz que a energia não pode ser criada nem destruída, apenas sofre transformações; a segunda lei (lei da entropia) estabelece a impossibilidade da transformação energética ocorrer de forma espontânea, ressalva quando há degradação da energia de uma forma mais concentrada para uma mais dispersa (ODUM, 1984).

Os fluxos energéticos devem ser compreendidos e intensamente avaliados visto que a cada etapa que se avança na análise do ciclo de vida de um organismo, maior a dispersão de energia no sistema. Esta, uma vez utilizada, parte é perdida na forma de calor, já que a dinâmica energética não é estabelecida por um ciclo (ODUM, 1984).

A eficiência energética pode ser determinada direta ou indiretamente. Segundo Oliveira Júnior (2005), geralmente, são utilizadas as relações entre as energias de entrada e de saída. Campos & Campos (2004) concluíram que mesmo quando os balanços não são corretamente mensurados, os dados de consumo energético permitem diagnosticar a eficácia da utilização dos componentes energéticos nos sistemas agrícolas. Estes resultados podem direcionar as práticas de manejo das explorações agropecuárias ao aumento da eficiência, redução nos custos energéticos e de produção em sistemas mais tecnificados.

Quando se avalia a eficiência energética da produção de um biocombustível deve-se verificar todo o ciclo de vida, a competência de utilização da energia fóssil e o valor líquido de energia, essa relaciona a eficiência energética global e a energia total produzida pela cultura que está associada à sua produtividade. Boddey et al. (2008) afirmaram que para cada aumento unitário no balanço energético tem-se um aumento cada vez menor da energia fóssil economizada. Essa relação foi avaliada a partir da energia obtida pelo sistema e do total de energia investida.

A avaliação da eficiência energética determina os pontos de maior demanda de energia fóssil, com vistas a estabelecer qual o impacto da produção agrícola sobre a sustentabilidade geral do sistema. Urquiaga et al. (2005) concluíram que o balanço energético é o indicador mais adequado para avaliação da viabilidade técnica de qualquer programa bioenergético.

Santos et al. (2007) destacam que grande parte dos trabalhos existentes no Brasil sobre conversão e balanço energético estudam as culturas isoladamente. Poucas pesquisas comparam espécies e cultivos sob diferentes sistemas de manejo do solo, rotação de culturas ou sistemas mistos.

Diante deste contexto, o presente estudo objetiva avaliar a eficiência energética e a capacidade produtiva de bioenergia em sistemas de exploração de grãos e pecuária, produzidos isoladamente e integrados, considerando um experimento de longo prazo da Embrapa Cerrados.

9. MATERIAL E MÉTODOS

O levantamento do balanço energético deste estudo levou em consideração as atividades fitotécnicas utilizadas no mesmo experimento de longo prazo descrito no Capítulo 1 desta dissertação. O período de tempo considerado para este levantamento foi desde a implantação do experimento, em 1991, até o ano de 2010, totalizando 20 anos.

Os tratamentos avaliados foram:

- Pastagem contínua em monocultivo com gramíneas (S₁);
- Pastagem contínua de gramínea consorciada com leguminosas (S₂);
- Integração lavoura-pecuária (ILP), rotação iniciada com pastagem em plantio convencional (S₃PPC);
- ILP, rotação iniciada com pastagem sob sistema de plantio direto (S₃PPD);
- ILP, rotação iniciada com lavoura em plantio convencional (S₃LPC);
- ILP, rotação iniciada com lavoura sob SPD (S₃LPD);
- Lavoura contínua em plantio convencional (S₄PC);
- Lavoura contínua sob SPD (S₄PD).

A sequência das culturas em cada tratamento encontra-se esboçada na tabela 14.

A análise energética considerou a energia produzida pelos grãos das culturas anuais e o conteúdo calórico do ganho de peso animal. Procedeu-se ainda, a avaliação da eficiência energética dos sistemas se a produção de grãos de soja e milho fosse destinada à fabricação de biodiesel e bioetanol, respectivamente.

Para a obtenção da eficiência energética (Ef), relacionou-se a energia produzida e a energia consumida por determinado sistema. Assim a eficiência energética foi definida pela equação:

$$Ef = \text{Energia de saída} / \text{Energia de entrada.}$$

Em que a energia de saída representa a energia final disponibilizada pelo componente produzido por unidade de área, e a energia de entrada representa o componente energético importado, de fonte renovável ou não, para manutenção do sistema produtivo. Esta mesma equação já foi utilizada em outros estudos (BRAGA et al., 2008; CAMPOS, 2001; LIMA et al., 2007; MACEDO et al., 2008; MELO et al., 2007; SOARES et al., 2007; SOARES et al., 2009).

Tabela 14. Culturas exploradas em 20 anos de experimento nos diferentes sistemas avaliados.

Ano	Pastagem contínua		Integração lavoura-pecuária (ILP)		Lavoura contínua
	Gramínea S1	Consortiada com leguminosa S2	Rotação pasto/lavoura S3P	Rotação lavoura/pasto S3L	
1991	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	<i>Ag. cv. Planaltina</i> + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	Soja cv. Doko	Soja cv. Doko
1992	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	<i>Ag. cv. Planaltina</i> + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	Soja cv. Siriema	Soja cv. Siriema
1993	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	<i>Ag. cv. Planaltina</i> + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	Milho BR 2001	Milho BR 2001
1994	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	<i>Ag. cv. Planaltina</i> + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	Soja cv. Savana	Soja cv. Savana
1995	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	<i>Ag. cv. Planaltina</i> + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	Milho cv. BR 205	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	Milho cv. BR 205
1996	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	<i>Ag. cv. Planaltina</i> + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	Soja cv. Savana	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	Soja cv. Savana
1997	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	<i>Ag. cv. Planaltina</i> + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	Milho cv. BR 205	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	Milho cv. BR 205
1998	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	<i>Ag. cv. Planaltina</i> + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	Soja cv. Celeste	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	Soja cv. Celeste
1999	<i>Ag. cv. Planaltina</i>	<i>Ag. cv. Planaltina</i> + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia	Soja cv. Milena	Soja cv. Milena
2000	<i>B. decumbens</i>	Bd + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia	Milheto cv. "CPAC"	Milheto cv. "CPAC"
2001	<i>B. decumbens</i>	Bd + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia	Soja cv. Nina	Soja cv. Nina
2002	<i>B. decumbens</i>	Bd + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia	Milheto cv. "CPAC"	Milheto cv. "CPAC"
2003	<i>B. decumbens</i>	Bd + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia	Soja cv. Raimunda + <i>Bb. cv. Marandu</i>	Soja cv. Raimunda
2004	<i>B. decumbens</i>	Bd + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	Soja cv. Emgopa 313	<i>Bb. cv. Marandu</i>	Soja cv. Emgopa 313
2005	<i>B. decumbens</i>	Bd + <i>Sg. cv. Mineirão</i>	Sorgo BR 304	<i>Bb. cv. Marandu</i>	Sorgo BR 304
2006	<i>B. decumbens</i>	Bd + <i>C. cajan</i>	Soja cv. Valiosa	<i>Bb. cv. Marandu</i>	Soja cv. Valiosa
2007	<i>B. decumbens</i>	Bd + <i>C. cajan</i>	<i>Bb. cv. Piatã</i> + Milheto cv. "CPAC"	Soja cv. Valiosa rr	Soja cv. Valiosa rr
2008	<i>B. decumbens</i>	Bd + <i>C. cajan</i>	<i>Bb. cv. Piatã</i>	Milho BRS 1010	Milho BRS 1010
2009	<i>B. decumbens</i>	Bd + <i>C. cajan</i>	<i>Bb. cv. Piatã</i>	Soja cv. Valiosa rr	Soja cv. Valiosa rr
2010	<i>B. decumbens</i>	Bd + <i>C. cajan</i>	<i>Bb. cv. Piatã</i>	Soja cv. Valiosa rr	Soja cv. Valiosa rr

Bd. - *Brachiaria decumbens*
 Bb. - *Brachiaria brizantha*
 Ag. - *Adropogon gayanus*
 Sg. - *Stylosanthes guinensis*

C. cajan - *Cajanus cajan*
P. maximum - *Panicum maximum*
 rr - Roundup Ready

No presente levantamento foi considerado que:

I. Os gastos energéticos adotados para os micronutrientes e gesso agrícola aplicados constaram-se dos gastos energéticos para a fabricação do adubo mineral nitrogenado e calcário, respectivamente, já que os mesmos não são encontrados na literatura.

Tabela 15. Preço de mercado utilizado na mensuração do dispêndio energético referenciado através da razão entre o Balanço Energético Nacional e o PIB.

Produto	Preço de mercado	Referências (2011)
Vacina Anti-rábica	R\$ 7,50 (50 mL)	Informaecon
Vacina Febre aftosa	R\$ 57,50 (250 mL)	Informaecon
Vacina Brucelose	R\$ 2,86 (10 mL)	Clivapec
Sal comum	R\$ 5,00 (25 kg)	MR Rural
Inoculante	R\$ 1,50 (dose)	MF Rural

II. Na determinação do conteúdo energético do ganho de peso animal em cada tratamento, calculou-se o valor energético/kg através da equação alométrica desenvolvida por Sant'ana et al. (2011) para bovinos da raça Nelore. Neste trabalho, a equação foi desenvolvida para o peso de corpo vazio que compreende o animal em jejum antes do abate, retirando-se o conteúdo alimentar presente no trato gastrointestinal. De acordo com Beranger & Robelin (1978), o conteúdo digestivo pode apresentar valores entre 5 a 25% do peso do corpo do animal, esta variação está em detrimento ao peso corporal e a composição da dieta do animal; no presente estudo, utilizou-se um valor médio de 15%. O conteúdo energético foi determinado sobre o peso médio, esta média foi obtida pelos valores de peso de entrada e saída dos animais nas pastagens, para que não houvesse super ou subestimativa do ganho energético. Após determinação, multiplicou-se o valor calórico de um quilo pelo ganho de peso em 180 dias (6 meses). Este período foi determinado já que os animais não ocupavam a área experimental durante todo o ano, eles entravam nas pastagens no início da estação chuvosa e, eram retirados quando a produção de forragem não mais suportava a taxa de lotação pré-determinada de acordo com a disponibilidade de forrageira. Após a retirada do lote de animais, este não mais retornava, ou seja, a cada estação chuvosa utilizavam-se diferentes animais. A equação alométrica para predição do conteúdo de energia no corpo vazio descrita por Sant'ana et al. (2011) encontra-se esboçada a seguir:

$$\log Y = -3,434 + 2,499 \times \log X$$

onde X corresponde ao peso de corpo vazio (kg) e Y o conteúdo energético no corpo vazio (Mcal/kg). O ganho de peso diário, ganho de peso em 180 dias, a taxa de lotação e o peso médio dos animais durante o período de permanência nos sistemas encontram-se representados abaixo (Tabelas 16, 17 e 18).

Tabela 16. Ganho de peso animal diário e em 180 dias nos diferentes sistemas de produção bovina avaliados.

Tratamento	Ganho de peso diário (kg animal ⁻¹ dia ⁻¹)*	Ganho de peso em 180 dias (kg animal ⁻¹ 180 dias ⁻¹)
S ₁	0,545	98,10
S ₂	0,589	106,02
S ₃ T ₁	0,655	117,90
S ₃ T ₂	0,557	100,26

*Valores obtidos da média de três períodos de avaliação (2006/07, 2008/09 e 2010).

Tabela 17. Taxa de lotação animal considerada nos cálculos de produtividade nos sistemas de pastagem. Média da taxa de lotação dos anos de 2006/07, 2008/09 e 2010.

Sistema	Taxa de lotação animal (animais ha ⁻¹)
S ₁	1,82
S ₂	1,86
S ₃ T ₁	3,42
S ₃ T ₂	3,11

Tabela 18. Peso médio de entrada e saída dos animais das áreas de pastagens.

Sistema	Peso inicial (Kg animal ⁻¹)*	Peso final (Kg animal ⁻¹)*
S ₁	178	326
S ₂	184	298
S ₃ T ₁	190	327
S ₃ T ₂	189	326

* Média do peso dos animais dos anos de 2006/07, 2008/09 e 2010.

III. Os animais que exploraram os piquetes, em sua grande maioria foram destinados à exploração de corte, o que justifica no estudo refenciado para a determinação do valor energético do ganho de peso dos animais da raça Nelore, raça mais explorada no experimento. Dos vinte anos de estudo, houve dois anos com exploração de gado de leite, no entanto, o período de avaliação de produtividade leiteira em um ano não foi mensurado e em outro ano, o período de avaliação foi muito curto para expressar relevância ao estudo.

IV. Os dados de ganho de peso animal foram determinados em três anos, cujos períodos compreenderam 24/11/2006 a 11/04/2007, 25/11/2008 a 13/03/2009 e 09/02/2010 a 27/05/2010. Como as avaliações constaram em distintas épocas durante a estação chuvosa na região, para os demais anos sem informações da produtividade animal, utilizou-se a média de ganho de peso desses três períodos de avaliação. Considerou-se que os períodos amostrados foram representativos em todos os anos de estudo.

V. Os animais foram submetidos ao controle de ectoparasitas, utilizando-se o produto comercial Ciper Pour On, indicado pelo fabricante para o controle de carrapatos, moscas do chifre, piolhos sugadores e mastigadores. A dose de recomendação como carrapaticida é de 10 mL para cada 100 kg de peso corporal e de 10

mL por animal para as demais indicações. Para os cálculos de custo energético contemplou-se a recomendação para o controle de carrapatos.

VI. Para a prevenção de doenças endêmicas, os animais foram vacinados contra Febre aftosa, Raiva bovina e Brucelose. A lei nº 504, de 22 de julho de 1993, discorre sobre a obrigatoriedade de controle destas doenças por meio de vacinação dos animais no estado do Distrito Federal (SEAPA – Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento do DF). Para a prevenção de Brucelose fez-se uso de metade da dose recomendada de 2 mL para cada bezerra O PNCEBT (Programa Nacional de Controle e Erradicação da Brucelose e Tuberculose) (BRASIL, MAPA, 2006), compele a vacinação em fêmeas de 3 a 8 meses de idade. Esta decisão foi tomada tendo como base que na área experimental, nem sempre houve controle de sexagem dos animais, no entanto, preconizou-se ocupar as pastagens com lotes homogêneos.

VII. Como meio de suplementação alimentar, cada animal recebeu, aproximadamente, 30 g de sal comum/dia. Este valor foi obtido pela média de consumo de 20 a 40 g de sal comum/animal adulto/dia, quando não há controle da ingestão (MORAES, 2001).

VIII. Até o ano de 2001 utilizou-se duas aplicações de fungicida para o controle da Ferrugem Asiática em soja, no ano de 2004 em diante procedeu-se cinco aplicações. Esta medida foi tomada em decorrência da alta incidência da doença.

IX. As sementes de soja foram inoculadas com *Bradyrhizobium*, sendo 80 g de inoculante comercial Nodusoja (Inoculante sólido turfoso para soja com adesivo) para 50 kg de sementes (NODUSOJA, 2011).

X. As informações que constam na literatura quanto ao dispêndio energético para a fabricação dos pesticidas agrícolas correspondem aos princípios ativos, em sua grande maioria, não utilizados atualmente. Tomou-se o uso da média de todos os princípios ativos para determinada classe de insumo (inseticida, herbicida e fungicida). Para os inseticidas não foi utilizado na média o gasto energético do Dicloro-Difenil-Tricloroetano (DDT) em decorrência da proibição do uso, fabricação, importação, exportação, comercialização e manutenção dos estoques em todo território nacional determinado pela lei nº 11,936 de 14 de maio de 2009 (BRASIL, CASA CIVIL, 2009). Os valores energéticos assumidos constam no estudo de Pimentel (1980).

XI. O Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo discorre que a produtividade média nacional do milheto varia de 500 a 1500 kg ha⁻¹ (EMBRAPA, 2010), como não houve mensuração da produção de grãos, utilizou-se da produtividade média de 1000 kg.ha⁻¹ para o ano 2000, onde houve aplicação de fertilizantes minerais, já no ano 2002, fez-se o uso da menor produtividade, 500 kg.ha⁻¹, por não terem sido utilizados insumos agrícolas.

XII. As recomendações dos inseticidas e fungicidas seguem a indicação do fabricante. Os produtos indicados para os 20 anos de experimento, constam das informações dos últimos 3 anos verificadas na área de estudo. Estes foram escalonados anualmente de forma a diversificar o ingrediente ativo aplicado. Os produtos comerciais e doses recomendadas são apresentados na tabela 19.

XIII. Para o desmatamento da vegetação do Cerrado utilizou-se dois tratores MF 299 interligados com um cabo de aço para executar o tombamento da vegetação. Nos sistemas de preparo convencional do solo, efetuou-se uma aração e duas gradagens; nas parcelas sob SPD, aplicou-se herbicida não seletivo do grupo químico glicina substituída com dosagem de 2 L ha⁻¹.

XIV. A utilização de mão-de-obra para a manutenção de cercas e aceiros demandou cerca de 5 pessoas trabalhando durante 8 horas/dia três vezes ao ano; para a aplicação de iscas formicidas, utilizou-se 2 horas/homem/ha. O total de horas investidas

pelo trabalho humano durante um ano em cada hectare foi de 122 horas. Boddey et al. (2008) explicitaram que o valor médio da mão-de-obra corresponde a 7,84 MJ hora/homem.

XV. Os valores energéticos presentes nos grãos produzidos constam na publicação de Rostagno et al. (2005).

XVI. Não foi considerado o dispêndio energético consumido nas instalações e benfeitorias da propriedade, ou seja, o estudo somente considerou os gastos energéticos na área experimental. Desta forma, excluindo todo gasto adicional para o beneficiamento do produto e/ou matéria-prima até chegar ao consumidor final, exceto para a produção dos biocombustíveis. Neste foi considerado o gasto energético referente ao processamento industrial. Não foram considerados ainda os gastos energéticos dos moirões e arames para a demarcação das parcelas bem como para a fabricação dos tratores. Considerou-se que este foi compensado durante todo o tempo de trabalho, já que as máquinas agrícolas mais recentes utilizadas no experimento apresentam 15 anos de uso. Além disto, se fosse considerado o dispêndio energético da fabricação dos tratores, a eficiência energética dos sistemas poderia ser subestimada visto que estes não foram adquiridos apenas para este experimento, desconsiderando desta forma, toda utilização em demais cultivos na Embrapa Cerrados.

Tabela 19. Produtos comerciais, princípio ativo e dose recomendada dos pesticidas utilizados no experimento.

Produto comercial	Princípio ativo	Dose recomendada do produto (mL.ha ⁻¹)	
		Soja	Milho
Inseticidas			
Certero	Triflumuron	30	50
Engeo pleno	Triametoxan	250	250
Gallaxy	Benzoiluréia	-	150
Karatê	Lambda-cialotrina	300	-
Klap*	Fipronil	20	20
Match	Lufenuron	150	300
Nomolt	Teflubenzuron	-	100
	Lambda-cialotrina		
Fungicidas			
Aproach Prima	Picoxistrobina	300	-
	Ciproconazol		
Cerconil**	Tiofanato metílico	-	1500
	Clorotalonil		
Comet	Piraclostrobina	-	300
Folicur**	Tebuconazol	500	500
Ópera**	Piraclostrobina	500	-
	Epoconazol		
Herbicidas			
Gallant*R	Haloxifop-R ester metílico	500	-
	Equivalente de ácido Haloxifop-R		
Primestra gold	Atrazina	-	2000
	S-Metacloro		
Roundup	Sal de isopropilamina de glifosato	2000 ou 3000	2000 ou 3000
Adjuvante			
Nimbus**	Óleo mineral parafínico	75	75

* A mesma recomendação foi utilizada no controle de formigas e cupins nas áreas de pastagens.

**Dose utilizada no experimento.

XVII. O consumo de óleo diesel dos tratores consiste das informações do rendimento dos tratores nas operações agrícolas efetuadas na área experimental. O rendimento para aração e gradagem do solo e aplicação de calcário seguem os dados apresentados por Boddey et al. (2008). A tabela 20 apresenta o rendimento dos tratores nas diversas operações agrícolas.

Tabela 20. Tratores, rendimentos, consumo de óleo diesel e gasto energético nas diversas operações mecânicas realizadas na área experimental.

Operações/Implementos	Trator	Rendimento			Consumo
		L/h	ha/h	L/ha	MJ.ha ¹⁽¹⁾
Desmatamento da vegetação (cabo de aço)	MF 299	20	0,8	25	1244,75
Arado	CAT D6	27,6	1,98	13,94	694,07
Grade	CAT D6	13	2,52	5,16	256,91
Grade aradora ⁽²⁾	MF 299	20	0,8	25	1244,75
Grade niveladora ⁽²⁾	MF 299	15	1,5	10	497,9
Distribuição do calcário ⁽²⁾	MF 265	4	4	1	49,79
Distribuição do gesso agrícola	MF 265	4	4	6	298,74
Distribuição do adubo mineral	MF 265	4	4	1	49,79
Plantadeira	MF 290	10	1,5	6,7	333,59
Pulverizador	MF 265	4	4	1	49,79
Colheitadeira	SLC 7500	30	2	15	746,85

⁽¹⁾ Valor calórico do óleo diesel 11,414 Mcal.L⁻¹ (PIMENTEL, 1980);

⁽²⁾ BODDEY et al. (2008);

Conversão energética: cal = 4,187 J (Joules) (CHOHFI, 2004).

1 L de diesel corresponde a 49,79 MJ.

XVIII. Os insumos utilizados nos sistemas cujos gastos energéticos se encontram na literatura estão apresentados na tabela 21.

XIX. Para os insumos utilizados que não apresentam gasto energético de produção explícitos na literatura, tomaram-se para mensuração, seus respectivos valores de mercado (Tabela 15). Para tal, foi estimado o valor energético de uma unidade monetária. Este custo foi calculado através da razão entre o consumo energético total do país, apresentado no Balanço Energético Nacional 2010 (ano base 2009) (206.364.000 tep, aproximadamente, 206 milhões de tep – toneladas equivalentes de petróleo (1tep = 10000 Mcal = 41870 MJ)) e o Produto Interno Bruto do mesmo ano (US\$ 1.576.909.000.000, ou seja, R\$2.463.131.858.000) (BRASIL, MME, 2010). A cotação do dólar utilizada foi do dia 05 de julho de 2011, que apresenta um valor de converção de R\$1,562 (FINANCEONE, 2011). Assim, para cada real gasto na aquisição de determinado produto, gastou-se 3,50 MJ de energia. Esta metodologia foi aplicada por Soares et al. (2007).

XX. Na safra de 1995/96, as áreas de produção animal contínua, com finalidade de recuperar a pastagem, foram cultivadas com milho. Como não foi mensurada a produtividade de grãos, utilizou-se a produtividade média da cultura nos outros sistemas de manejo. Logo, na contabilização da energia produzida pelos tratamentos de pastagem contínua, não foi considerada a diferença de produção esperada na área da pastagem que não recebeu adubação nitrogenada (pastagem contínua consorciada).

XXI. Para avaliação da eficiência energética dos sistemas, esta foi determinada anualmente, no entanto, a discussão foi realizada para as áreas de pastagem contínua e integração lavoura-pecuária (ILP), quando ocupadas por pastagem, no intervalo de tempo ocupado por cada forrageira; já nas áreas de lavoura contínua e ILP, quando ocupada por lavoura. Tomaram-se os valores médios do dispêndio energético da produção agrícola de cada cultura. Esta tomada de decisão foi justificada para melhor comparação dos sistemas contínuos e integrados. No apêndice do presente trabalho

consta o detalhamento anual da eficiência energética dos tratamentos, bem como a relação de todos os insumos utilizados.

Tabela 21. Energia gasta no processo de fabricação dos insumos.

Insumo	Unidade	MJ/unidade
Gesso agrícola ¹	kg	1,31
Calcário ¹	kg	1,31
Nitrogênio ¹	kg	54,00
Fósforo ¹	kg	3,19
Potássio ¹	kg	5,89
Micronutrientes	kg	54,00
Óleo mineral ²	mL	0,04
Sementes dos grãos e leguminosas forrageiras ²	kg	33,00
Sementes forrageiras ²	kg	1,50
Inoculante	Dose	5,25
Inseticida ¹	g P.A.	0,3853
Fungicida (Óleo emulsionável) ³	g P.A.	0,2768
Fungicida (Pó-molhável) ³	g P.A.	0,1213
Herbicida (Atrazina) ³	g P.A.	0,3691
Herbicida (Glifosato) ³	g P.A.	0,6323
Herbicida (outros) ³	g P.A.	0,4232
Vacina Anti-rábica	mL	0,525
Vacina Febre aftosa	mL	0,805
Vacina Brucelose	mL	1,001
Ciper (Pour-on)	mL	0,023
Sal comum	kg	0,70
Óleo diesel ³	L	49,79
Mão-de-obra ¹	Hora/homem	7,84

P.A. – Princípio ativo.

¹ BODDEY et al., 2008;

² SOARES et al., 2007;

³ PIMENTEL, 1980.

Na discussão dos dados apresentados no presente estudo, inicialmente, deu-se o enfoque na eficiência energética do ciclo de vida dos produtos agrícolas gerados em cada sistema de manejo. Posteriormente, foi abordada a questão da eficiência energética na produção de biocombustíveis a partir dos grãos. Para melhor comparação da eficiência energética dos sistemas de manejo e uso do solo, estes foram agrupados de acordo com a semelhança do produto gerado. Onde os tratamentos de produção animal contínua de pastagem em monocultivo de gramínea e consorciada foram confrontados. A seguir, fez-se uma análise comparativa da produção contínua de grãos com preparo convencional do solo (PC) e sob o sistema de plantio direto (PD). Por fim, construiu-se o tratamento da integração lavoura-pecuária com PC e PD, dentro de cada uma das distintas rotações, iniciado por lavoura ou com pastagem. Ao final da discussão, realizou-se uma análise global da eficiência energética dos sistemas contínuos e integrados. Na análise do ciclo de vida dos produtos, foi utilizado o valor total de input

e output de energia, já na análise do balanço energético dos biocombustíveis fez-se o uso das médias dos mesmos.

10. RESULTADOS E DISCUSSÃO

10.1. Análise da eficiência energética durante o ciclo de vida nos sistemas de produção animais e de grãos contínuos e integrados.

Conforme explicitado anteriormente, os sistemas semelhantes foram comparados entre si, e posteriormente, foi realizada uma discussão geral.

10.2. Sistemas de produção animal: monocultivo e consorciada

Nas pastagens contínuas o tratamento S2 apresentou maior eficiência energética após 20 anos de substituição do Cerrado (Tabela 22). A maior produtividade animal associada ao menor consumo energético do sistema, principalmente no uso de fertilizantes, destacou a eficiência energética na análise do ciclo de vida do produto cárneo na pastagem consorciada.

Tabela 22. Avaliação da eficiência energética da produção animal em sistemas de pastagem contínua em monocultivo de gramínea (S1) e consorciado com leguminosa (S2), após 20 anos de substituição do Cerrado. Estes valores corresponde à soma em 20 anos.

Período avaliado (anos)	1991-2010	
	S1	S2
Sistema de plantio		
Produtividade		
Ganho de peso animal/ha em 20 anos	3,39	3,75
Ingressos (GJ ha⁻¹)		
Fertilizantes	10,95	4,59
Sementes	0,71	1,58
Inseticidas	0,10	0,10
Fungicidas	0,20	0,20
Herbicidas	0,50	0,50
Sanidade animal	0,14	0,14
Sal mineral	0,14	0,14
Combustível	7,62	9,78
Óleo mineral parafínico	0,02	0,02
Mão-de-obra	19,13	19,13
Total ingressos	39,51	36,18
Energia do componente animal (GJ ha⁻¹)	4013,72	3967,65
Eficiência energética	101,59	109,66

Avaliando os sistemas de pastagem contínua, nota-se que a diferença mais acentuada no consumo energético deve-se ao uso de fertilizantes. Esta distinção é decorrente da utilização de adubação nitrogenada no sistema S1, que conferiu um consumo de 2,3 vezes superior ao tratamento S2 para esses insumos (Tabela 22).

No presente estudo, o consumo energético atribuído ao adubo nitrogenado no sistema S1 correspondeu a 27,71% (Anexo 2), destacando a grande contribuição do insumo na avaliação da eficiência energética de um sistema com baixo investimento energético.

O consumo de óleo diesel nas operações agrícolas apresentou valores de 19,28% e 27,03% nos sistemas S1 e S2, respectivamente (Tabela 22). Estes valores destacam o impacto da utilização de energia fóssil na eficiência energética dos sistemas produtivos. O sistema S2 apresentou maior consumo de combustível fóssil em decorrência do maior número de reforma da pastagem através da substituição das leguminosas forrageiras. Esta prática também apresentou consequências no ingresso de energia com sementes.

A utilização de defensivos agrícolas durante o cultivo de milho na safra 1995/96 apresentou baixo uso de energia nestes sistemas avaliados, repondo por 0,5 GJ ha⁻¹ de energia (Tabela 22).

Do ponto de vista energético, a proteína animal é mais dispendiosa que a vegetal, para a manutenção desta, torna-se necessário a produção de forragens e grãos, que serão consumidos pelo animal e desta forma, compõe o produto animal desejado (PIMENTEL, 1984). No entanto, se houver esta consideração, a população perderia acesso a uma importante fonte de proteína, essencial ao pleno funcionamento do organismo humano.

Sistemas de produção animal extensionistas tendem a apresentar elevados valores de eficiência energética já que se considerarmos a energia luminosa “gratuita” disponibilizada e em abundância utilizada pelas plantas forrageiras no processo fotossintético que, associado ao mínimo investimento, como ocorre por grande parte dos pecuaristas brasileiros, em correção da acidez do solo e adubação de manutenção, a inserção de forrageiras adaptadas às condições edafoclimáticas da região, bem como a utilização de raças bovinas melhoradas geneticamente à aptidão explorada, o cumprimento dos calendários profiláticos de doenças endêmicas e o controle de endo e ectoparasitas, permite ao pecuarista uma produtividade animal que pode garantir sua renda e a continuidade da atividade.

Este sistema de exploração, quando bem manejado, permite a sustentabilidade da atividade pecuária econômica, no entanto, pode apresentar riscos à qualidade ambiental no que tange a emissão de gases de efeito estufa e pressão no avanço das fronteiras agrícolas do bioma ao qual está inserido, já que a produção extensionista requer grandes áreas. Além disto, a atividade concorre por área com a produção de grãos nobres utilizados na própria alimentação animal, na alimentação humana e na produção de biocombustíveis.

10.3. Sistemas de produção contínuo de grãos

Na avaliação da eficiência energética do sistema de produção contínuo de grãos, o sistema de plantio direto foi mais eficiente energeticamente que o preparo convencional do solo. As diferenças observadas quando foram comparadas as eficiências energéticas destes sistemas deve-se às distintas produtividades dos grãos, o uso de herbicidas e combustíveis (Tabela 23).

Tabela 23. Eficiência energética de sistema de produção contínuo de grãos, sob o sistema de plantio direto (PD) e com preparo convencional do solo (PC) em 20 anos.

Período avaliado (anos)	1991 - 2010	
	S4T1	S4T2
Sistema de plantio		
Produtividade		
Produtividade de grãos (Mg ha ⁻¹)	57,83	59,71
Ingressos (GJ ha⁻¹)		
Fertilizantes	44,69	44,69
Sementes	29,85	29,85
Inoculante	0,09	0,09
Inseticidas	0,37	0,37
Fungicidas	2,21	2,21
Herbicidas	4,41	16,86
Óleo mineral parafínico	0,22	0,39
Combustível	61,50	17,73
Mão-de-obra	19,13	19,13
Total ingressos	162,47	131,32
Energia total produzida pelo sistema (GJ ha⁻¹)	941,69	972,20
Eficiência energética	5,80	7,40

O consumo de herbicidas foi de 4,41 e 16,86 GJ ha⁻¹ e o gasto com combustível de 61,50 e 17,73 GJ ha⁻¹ no preparo convencional do solo e sistema de plantio direto, respectivamente (Tabela 23). O menor consumo médio de óleo diesel nos tratamentos sob SPD permitiu maior eficiência energética, fato que pode ser atribuído ao grande consumo energético de combustível proporcionado pelo revolvimento do solo. No entanto, o consumo de herbicidas diminui a eficiência destes sistemas, já que este insumo representa alto custo energético. A porcentagem inerente ao uso de herbicidas corresponde a 12,83% e 2,71% do total de energia gasta com o insumo, já o consumo de combustível apresentou valores de 13,50% e 37,85% em SPD e PC, respectivamente, após 20 anos do desmatamento da vegetação do Cerrado e implantação das lavouras contínuas (Tabela 23).

Hetz & Melo (1997) relataram que a eficiência energética em SPD e o rendimento das culturas de trigo e milho aumentam com o passar do tempo.

Santos et al. (2007), avaliando um experimento em Passo Fundo (RS) no período de 1997 a 2003, encontraram valores de eficiência energética de 72,44 MJ ha⁻¹ em SPD, 64,06 MJ ha⁻¹ em sistema de cultivo mínimo no inverno e semeadura direta no verão, 54,35 MJ ha⁻¹ com a utilização de arado de discos no inverno e semeadura direta no verão, e 52,02 MJ ha⁻¹ sob preparo do solo com arado de aivecas no inverno e semeadura direta no verão. Apesar das pequenas diferenças apresentadas, pode-se verificar uma redução no consumo de combustível de aproximadamente 20 MJ ha⁻¹ do sistema com maior consumo para aquele mais econômico. Neste mesmo trabalho, constataram ainda que o emprego de rotação de culturas, sendo o sistema II (trigo/soja e ervilhaca/milho ou sorgo) e o sistema III (trigo/soja, ervilhaca/milho ou sorgo e aveia branca/soja) apresentou valores mais elevados de conversão energética que o sistema I em monocultivo de inverno e verão (trigo/soja).

No presente estudo, os tratamentos com preparo convencional do solo e o sistema de plantio direto, o gasto com adubação nitrogenada correspondeu a 14,54% e

17,57%, respectivamente (Anexos 8 e 9). Estes valores corroboram a afirmativa do grande gasto energético quando se faz o uso da adubação nitrogenada, onde, mesmo em sistemas onde há maior investimento em insumos a porcentagem de contribuição nos gastos energéticos não difere dos sistemas menos tecnificados.

Melo et al. (2007) avaliaram uma produção de soja e milho sob SPD, durante dois anos de cultivos consecutivos em uma propriedade agrícola no Paraná, onde o gasto com o nitrogênio na produção de soja inoculada representou 2,48% do total de energia investida, enquanto na produção de milho alcançou 26,53%. Soares et al. (2007) avaliaram um experimento de integração lavoura-pecuária em uma área experimental da Embrapa Arroz e Feijão, quando, a adubação nitrogenada correspondeu a 28,98% de todo o custo energético do sistema.

10.4. Sistemas de produção de carne e grãos integrados

Como a aplicação de fertilizantes e corretivos do solo foi a mesma nos diferentes sistemas de preparo do solo nos sistemas de integração lavoura-pecuária, a diferença observada na eficiência energética de cada sistema, deve-se à utilização de herbicidas, combustível, produtividade de grãos, ganho de peso animal e taxa de lotação das pastagens, esta influenciará o consumo dos insumos para a sanidade e nutrição animal.

Tabela 24. Eficiência energética no sistema integração lavoura-pecuária (ILP), rotação iniciada com pastagem, sob o sistema de plantio direto (PD) e preparo convencional do solo (PC).

Período avaliado (anos)	1991 - 2010	
	S3PT1	S3PT2
Sistema de plantio		
Produtividade		
Ganho de peso animal (Mg ha ⁻¹ 20 anos)	4,26	3,28
Produtividade de grãos (Mg ha ⁻¹ em 20 anos)	28,98	29,00
Ingressos (GJ ha⁻¹)		
Fertilizantes	23,47	23,47
Sementes	9,85	9,85
Inoculante	0,03	0,03
Inseticidas	0,19	0,19
Fungicidas	0,91	0,91
Herbicidas	1,24	6,71
Óleo mineral parafínico	0,11	0,13
Sanidade animal	0,17	0,15
Sal mineral	0,17	0,15
Combustível	26,45	12,45
Mão-de-obra	19,13	19,13
Total ingressos	81,72	73,17
Energia do componente animal (GJ ha ⁻¹)	5370,14	4103,23
Energia dos grãos (GJ ha ⁻¹)	651,00	554,38
Energia total produzida pelo sistema (GJ ha⁻¹)	6021,14	4657,61
Eficiência energética	73,68	63,65

Na ILP, onde a rotação foi iniciada com pastagem, os insumos que apresentaram maiores gastos energéticos foram o uso de herbicidas apresentando valores de 1,24 e 6,71 GJ ha⁻¹ e o óleo diesel com valores de 26,45 e 12,45 GJ ha⁻¹ no preparo convencional do solo e SPD, respectivamente (Tabela 24).

No sistema S3P, o tratamento com preparo convencional do solo proporcionou maior eficiência energética quando em SPD. Apesar do grande investimento energético com combustível para o preparo do solo, a produtividade animal foi fundamental para o destaque do sistema com preparo convencional do solo. Provavelmente, o revolvimento do solo para a implantação da pastagem, pode ter favorecido a disponibilidade de nutrientes para a gramínea forrageira, favorecendo desta forma o seu desenvolvimento e, conseqüentemente, permitindo uma maior taxa de lotação e ganho de peso animal, esta pode ser observada pelo maior consumo energético nos insumos utilizados para a sanidade e nutrição animal (Tabela 24).

Comportamento semelhante foi observado na ILP quando a rotação foi iniciada com lavoura, o tratamento com preparo convencional do solo apresentou maior eficiência energética quando comparado ao SPD, com valores de 43,21 e 34,93, respectivamente. Neste caso, além da diferença apresentada no ganho de peso animal, ainda foi observado um déficit de 3,27 Mg ha⁻¹ na produtividade dos grãos (Tabela 25).

A eficiência energética na análise do ciclo de vida de produto agrícola está associada às entradas energéticas, principalmente, quanto ao uso de fertilizantes nitrogenados, combustível e herbicidas.

O consumo energético no uso de herbicidas foi de 4,08 e 15,01 GJ ha⁻¹ e o uso de combustível de 41,28 e 23,69 ha⁻¹ no preparo convencional do solo e sob SPD, respectivamente (Tabela 25). Nos sistemas onde houve emprego do SPD o uso de herbicidas para dissecar os restos culturais para posterior plantio na palha correspondeu a 9,15% e 13,86%, mas quando houve preparo convencional do solo, este insumo apresentou gasto energético de 1,51% e 3,58% nos tratamentos da ILP rotação iniciada com pastagem e rotação iniciada com lavoura, respectivamente, do total de energia investida no sistema (Anexos 4, 5, 6, 7 e 8).

O uso de adubação nitrogenada, quando as áreas encontravam-se ocupadas com lavoura, contribuiu com 20,34%, 19,08%, 14,76% e 15,59% nos tratamentos S3PPC, S3PPD, S3LPC e S3LPD, respectivamente (Anexos 4, 5, 6, 7 e 8) do total de energia investida no sistema.

Estes resultados evidenciam que o SPD na integração lavoura-pecuária no Cerrado deve ser mais bem avaliado para que haja maiores ganhos econômicos e de qualidade do solo, a fim de que a associação destes sistemas de manejo venha ser mais proveitosa no longo prazo.

Tabela 25. Eficiência energética no sistema de integração lavoura-pecuária (ILP), rotação iniciada com lavoura, sob o sistema de plantio direto (PD) e preparo convencional do solo (PC).

Período avaliado (anos)	1991 - 2010	
	S3LT1	S3LT2
Sistema de plantio		
Produtividade		
Ganho de peso animal (Mg ha ⁻¹ .20 anos)	3,00	2,33
Produtividade de grãos (Mg ha ⁻¹ em 20 anos)	40,40	37,13
Ingressos (GJ ha⁻¹)		
Fertilizantes	22,31	22,31
Sementes	20,11	20,11
Inoculante	0,06	0,06
Inseticidas	0,24	0,24
Fungicidas	1,28	1,28
Herbicidas	4,08	15,01
Óleo mineral parafínico	0,22	0,25
Sanidade animal	0,10	0,09
Sal mineral	0,10	0,09
Combustível	41,28	23,69
Mão-de-obra	19,13	19,13
Total ingressos	108,91	102,26
Energia do componente animal (GJ ha ⁻¹)	3782,55	2914,09
Energia dos grãos (GJ ha ⁻¹)	923,18	657,47
Energia total produzida pelo sistema (GJ ha⁻¹)	4705,73	3571,56
Eficiência energética	43,21	34,93

Os sistemas de pastagem contínua apresentaram maiores valores da eficiência energética que o sistema contínuo de produção de grãos e os sistemas integrados, porém estes sistemas foram os que apresentaram menor produção de alimentos. O baixo investimento energético em decorrência da baixa utilização de insumos agrícolas e renovação e/ou reforma das pastagens associado ao alto valor energético imbutido no componente animal favoreceram um elevado balanço energético (Tabela 26).

O menor input energético na criação extensiva de bovinos resultou em maior balanço energético na ILP quando a rotação foi iniciada com pastagem em detrimento à ILP na rotação iniciada com lavoura (Tabela 26). Após 20 anos da implantação do sistema, os tratamentos S3P estiveram ocupados com pastagem por 12 anos contra 7 dos tratamentos S3L. Além disto, os sistemas S3L estiveram ocupados com lavoura por um período total de 13 anos o que ocasionou alto investimento energético proveniente da prática de adubação em relação aos sistemas S3P (Tabela 14).

O sistema de integração lavoura-pecuária apresentou valores mais elevados da eficiência energética que os sistemas contínuos de produção de grãos. O menor investimento energético adotado na produção bovina possibilitou estes maiores índices. Estes valores poderiam ser mais elevados se considerar que as culturas de sorgo e milho, exploradas nos tratamentos, fossem destinadas à fabricação de ração ou a ensilagem para dar suporte à alimentação dos animais criados sob pastejo.

Na ILP, além da eficiência do componente vegetal na utilização da energia solar e dos insumos empregados no sistema, a gramínea forrageira em sucessão à exploração de grãos aproveita o efeito residual dos insumos e, quando bem manejada pode promover melhorias na qualidade do solo (SOARES et al., 2007).

Os menores índices da eficiência energética foram apresentados nas lavouras contínuas, o alto investimento anual com insumos agrícolas e operações mecânicas influenciaram estes valores (Tabela 26), porém foram os sistemas que mais produziram carne e grãos. Pellizzi (1992) afirmou que sistemas em monocultivos tendem a fazer o uso mais intenso de controle de doenças, com um consumo de cerca de 1 a 3% a mais que os sistemas onde há rotação de cultivos. Apesar de não ter sido mensurado a diferença no uso de insumos para o controle de pragas e doenças entre os sistemas contínuos e integrados, a inserção da sucessão da atividade pecuária à produção de grãos, pode trazer benefícios energético e econômico, através da menor utilização destes insumos pela possibilidade desta quebra de ciclos de pragas e doenças que a rotação/sucessão proporciona.

Os sistemas avaliados no presente estudo podem ser considerados sustentáveis estritamente do ponto de vista energético, pois todos os tratamentos com seus diferentes sistemas de manejo e uso do solo apresentaram conversão energética superior a 1 (um), ou seja, todos produziram mais energia do que consumiram. Mas deve ficar claro que o balanço energético é apenas um índice que ajuda muito na determinação do grau de sustentabilidade de um sistema de produção, porém em uma avaliação mais completa, deve-se incluir também o balanço de gases de efeito estufa (GEE). Nesse sentido, é muito possível que os sistemas de produção de gado de forma extensiva, sem adequado manejo animal, o alto valor de eficiência energética seja neutralizado pelos altos valores de emissão de GEE, considerando o longo tempo que tomaria para atingir o peso de abate dos animais crescendo em pastos com sinais de degradação.

Tabela 26. Eficiência energética dos diferentes sistemas de manejo e uso do solo avaliados após 20 anos de desmatamento da vegetação do Cerrado.

Sistema de Manejo	Grãos		Componente Animal		Total		Eficiência Energética
	Produtividade Mg ha ⁻¹	Energia Produzida GJ ha ⁻¹	Produtividade Mg ha ⁻¹	Energia Produzida GJ ha ⁻¹	Energia Consumida GJ ha ⁻¹	Energia Produzida GJ ha ⁻¹	
S1	-	-	3,39	4013,72	39,51	4013,72	101,59
S2	-	-	3,75	3967,65	36,18	3967,65	109,66
S3PT1	28,98	651,00	4,26	5370,14	81,72	6021,14	73,68
S3PT2	29,00	554,38	3,28	4103,23	73,17	4657,61	63,65
S3LT1	40,40	923,18	3,00	3782,55	108,91	4705,73	43,21
S3LT2	37,13	657,47	2,33	2914,09	102,26	3571,56	34,93
S4T1	57,83	941,69	-	-	162,47	941,69	5,80
S4T2	59,71	972,20	-	-	131,32	972,20	7,40

Os valores foram obtidos através do somatório de todos os ingressos e produção energética na análise do ciclo de vida de cada produto.

10.5. Eficiência energética dos biocombustíveis

Quando a produção de grãos é direcionada à fabricação de biocombustíveis, tem-se um acentuado decréscimo da eficiência energética. Esta ocorrência é elucidada pela composição química do grão explorado, de acordo com sua qualidade para a produção de biocombustível, em detrimento ao seu teor de óleo ou ao seu conteúdo de amido. Além disto, tem-se o consumo energético apresentado na fase industrial de produção.

Para que uma cultura possa ser considerada com potencialidade para a produção de biocombustível, o balanço energético de todo o ciclo de vida do combustível deve ser significativamente superior a 1 (um). No entanto, este balanço pode ser melhorado através da utilização de variedades mais produtivas, redução e/ou substituição da adubação nitrogenada pelo uso de adubo verde com leguminosas em consórcio ou em rotação, de forma a reduzir o custo energético e também econômico da produção (URQUIAGA et al., 2005).

Tabela 27. Valores de eficiência energética do biodiesel em sistema de produção de grãos contínuo e integrado em plantio direto (PD) e sob preparo convencional do solo (PC).

Tratamento	Lavoura contínua		ILP Lavoura-Pasto		ILP Pasto-Lavoura	
	PC	PD	PC	PD	PC	PD
Produtividade de grãos de soja (kg ha ⁻¹)	2265,2	2373,9	2102,1	2117,2	3189,2	3233,2
Produtividade do óleo de soja (kg ha ⁻¹)	407,7	427,3	378,3	381,1	574,0	581,9
Ingressos (GJ ha⁻¹)						
Transesterificação industrial	3,5	3,7	3,3	3,3	5,0	5,0
Produção agrícola	7,7	6,3	7,8	7,4	7,0	6,4
Total de ingresso de energia (GJ ha⁻¹)	11,2	10,0	11,1	10,7	12,0	11,4
Energia produzida pelo biocombustível	15,9	16,7	14,7	14,8	22,4	22,7
Eficiência Energética	1,4	1,7	1,3	1,4	1,9	2,0

A eficiência energética do biodiesel no presente estudo apresentou valores entre 1,3 e 2,0 unidades de energia produzida por cada unidade de energia investida na sua produção. O tratamento ILP, rotação iniciada com lavoura, apresentou menor eficiência, seguida do tratamento lavoura contínua. A maior eficiência apresentada na ILP, rotação iniciada com pastagem, deve-se à maior produtividade de grãos neste sistema. Houve uma tendência de maior eficiência energética da produção do biocombustível quando o grão foi produzido sob PD (Tabela 27).

Em todos os anos avaliados, a eficiência energética do bioetanol do milho apresentou valores mais elevados que o biodiesel da soja. No sistema de integração lavoura-pecuária, rotação iniciada com pastagem, houve um saldo de quase uma unidade, este sistema apresentou uma eficiência energética de 2,4 e 2,3 GJ ha⁻¹ (Tabela 28) para PC e PD, respectivamente.

O tratamento de lavoura contínua apresentou maior eficiência energética em PD em relação a PC, com valores de 3,2 e 2,9 GJ ha⁻¹, respectivamente. Diferentemente do comportamento da ILP, rotação iniciada com lavoura, onde estes valores corresponderam a 2,9 e 2,72 GJ.ha⁻¹, respectivamente. Esta diferenciação deve-se a

produtividade média de grãos de milho entre os sistemas de preparo do solo (Tabela 28).

Tabela 28. Valores de eficiência energética do bioetanol de milho em sistema de produção de grãos contínuo e integrado em plantio direto (PD) e sob preparo convencional do solo (PC).

Tratamento	Lavoura contínua		ILP Lavoura-Pasto		ILP Pasto-Lavoura	
	PC	PD	PC	PD	PC	PD
Sistema de manejo						
Produtividade de grãos de milho (kg ha ⁻¹)	6910,7	6644,3	8649,5	7812,6	4260,0	4100,0
Produtividade do bioetanol (Litros)	2073,2	1993,2	2595,0	2343,7	1278,0	1230,0
Ingressos (GJ ha⁻¹)						
Hidrólise e sacarificação do amido,	7,3	7,0	9,2	8,3	4,5	4,3
Fermentação industrial						
Produção agrícola	11,6	9,4	14,3	14,2	9,8	9,7
Total de ingresso de energia	18,9	16,4	23,5	22,5	14,3	14,0
Energia produzida pelo biocombustível	55,0	52,9	68,9	62,2	33,9	32,6
Eficiência energética	2,9	3,2	2,9	2,7	2,4	2,3

Nota-se que na produção dos dois biocombustíveis, não houve acentuada diferença entre a eficiência energética do sistema contínuo de produção de grãos e integrado com exploração pecuária. Este quadro evidencia que a integração não compromete a exploração de culturas energéticas, além disto, proporciona ao produtor rural uma maior diversidade na obtenção de renda, além da possibilidade de driblar a sazonalidade de preços pagos ao produto no mercado.

Soares et al. (2007) observaram em um experimento de integração lavoura-pecuária uma conversão energética de 1,42 e 1,51 unidades de energia produzida por cada unidade de energia investida na produção para o biodiesel da soja e bioetanol do milho, respectivamente. Estas diferenças nas eficiências energéticas entre os dois experimentos devem-se principalmente pelo menor investimento energético nos sistemas do presente estudo. No entanto, a produção energética da cultura da soja mostrou-se mais reduzida em relação ao trabalho referenciado, mas deve-se destacar que a soja é uma fonte rica em nitrogênio, o farelo contém em mais de 50% de proteína a ser empregada na nutrição mineral.

Diante do contexto atual, onde há uma crescente demanda de fontes renováveis de energia e a redução nos estoques de energia fóssil, bem como pelos impactos ambientais que a utilização desta proporciona ao meio ambiente, a busca por culturas energéticas com alta eficiência de conversão torna-se necessária.

Braga et al. (2008) em 62 propriedades rurais do estado do Ceará, avaliaram o balanço energético da produção de biocombustível a partir do óleo de mamona, cujo balanço foi na ordem de 1,52.

Soares et al. (2009) mostraram que o etanol obtido da cana-de-açúcar, nas condições brasileiras, possui um balanço energético altamente positivo, uma relação média de 9,3. Se for considerada a eletricidade comercializada pelas usinas à rede estadual, advinda da energia gerada pela queima do excesso de bagaço, este balanço poderia subir para mais de 10 para 1 (MACEDO, 1998).

Um exemplo de balanço menos eficiente seria o caso do bioetanol do milho, nos Estados Unidos. Pimentel (2001) calculou que seriam necessários 1,65 GJ de energia

fóssil para produzir 1,0 GJ de energia na forma de bioetanol. Na União Européia, Armstrong et al. (2002) consideram que seriam necessários 0,68 GJ de energia fóssil para gerar 1,0 GJ de energia na forma de biodiesel de canola. Malça et al. (2003) avaliaram o balanço energético para a produção de bioetanol a partir da beterraba açucareira e trigo na França, estes valores corresponderam a 6,86 e 6,16, respectivamente.

Urquiaga et al. (2005) encontraram valor de conversão para a cultura do dendê nas condições malasianas de 8,7 GJ.ha⁻¹. Lima et al. (2007), em estudo do balanço energético da biomassa do *Euclyptus benthamii*, encontraram uma eficiência de 81,87 GJ ha⁻¹ ano⁻¹.

A tomada de decisão para a exploração de biomassa para a geração de energia requer avanços tecnológicos na sua inserção e utilização, além disto, deve haver um julgamento holístico de forma a considerar a sustentabilidade ambiental, social e econômica. Deve haver adequação da cultura/variedade explorada às condições edafoclimáticas da região.

Destaca-se a problemática em que as culturas energéticas competem com a produção de alimentos. Para haver um suprimento adequado às necessidades energéticas devem ainda ser considerados os sérios problemas de logística que o país apresenta.

O Brasil detem certas qualidades que permite a sua progressão e liderança no mercado da agroenergia. No entanto, deve haver um planejamento minucioso para a execução de tal papel. Principalmente ao que tange na inserção de áreas marginais para exploração de culturas energéticas; zoneamento agroecológicos das oleaginosas já exploradas e com potencialidade de exploração; driblar a sazonalidade da produção de grãos através da inserção de culturas com diferentes ciclos; melhoramento genético das culturas; desenvolvimento de técnicas de manejo, colheita, processamento e sanidade vegetal; formação/manutenção/ampliação de banco de germoplasma e o aprimoramento de todo o setor de industrialização do biocombustível.

Na atualidade necessita-se de um equilíbrio entre o desenvolvimento e o meio ambiente, de forma a garantir o suprimento sustentável de alimentos e energia para a atual e para futuras gerações.

11. CONCLUSÕES

Os sistemas de produção pecuária extensiva com pastagem em monocultivo ou consorciada apresentaram maior eficiência energética que os demais sistemas em estudo, porém limitou-se apenas à produção de carne, quando comparado aos sistemas integrados que também produziram grãos.

A eficiência energética no sistema de integração lavoura-pecuária apresentou valores superiores quando houve o preparo convencional do solo. No tratamento de lavoura contínua o sistema de plantio direto apresentou maior eficiência energética.

A produção contínua de grãos apresentou menor eficiência energética na análise do ciclo de vida da produção de grãos, porém o sistema produziu mais grãos.

A eficiência energética do biodiesel de soja variou ao redor de 1,5, apresentando maiores valores sob a integração lavoura-pecuária.

A conversão energética do bioetanol do milho variou ao redor de 2,7, independente do sistema de produção.

12. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adoção do SPD no Cerrado é uma das tecnologias de manejo de solos mais conservacionistas da agricultura brasileira, e para sua implementação requer uma adequada avaliação quanto à correção inicial da fertilidade e acidez do solo em maiores profundidades, o que pode ser obtido pelo uso racional do preparo convencional do solo nos anos logo após a substituição da vegetação nativa.

Os sistemas de integração lavoura-pecuária baseados na produção de grãos e pecuária na mesma área, em rotação, é um aperfeiçoamento dos sistemas conservacionistas. No estudo se observou que este sistema promoveu maior acúmulo de C e N no perfil do solo.

Neste estudo encontrou-se que a eficiência energética é um parâmetro que influi na avaliação da sustentabilidade de um sistema de produção, mas não leva em consideração a quantidade de produto produzido. Assim, o sistema de produção pecuária de forma extensiva apresenta-se como energeticamente eficiente, mas considerando que nos sistemas extensivos o tempo de abate dos animais é longo, mais de 4 anos, o impacto dos animais emitindo CH₄ durante tudo esse tempo, o impacto ambiental é muito negativo. Por isso, considera-se que para avaliar o grau de sustentabilidade de um sistema de produção deve-se considerar também o volume de produção agrícola como um todo.

13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGNES, E. L.; FREITAS, F. C. L.; FERREIRA, L. R. Situação atual da integração agricultura pecuária em Minas Gerais e na Zona da Mata Mineira. In: ZAMBOLIM, L.; FERREIRA, A. A.; AGNES, E. L. **Manejo integrado: integração agricultura-pecuária**. Viçosa-MG, p. 251-267, 2004.

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.

ALLEN, V. G.; BAKER, M. T.; SEGARRA, E. BROWN, C. P.; USDA, ARS Integrated irrigated crop-livestock systems in dry climates. **Agronomy Journal**, v. 99, p. 346-360, 2007.

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P.C.; SPAGNOLLO, E.; CAMPOS, B.C.; VEIGA, M. Potencial de acúmulo de carbono em plantio direto com uso intensivo dos solos e culturas de cobertura no Sul do Brasil, **Journal Environmental Quality**, v.35, p. 1599-1607, 2006.

ARMSTRONG, A. P.; BARO, J.; DARTOY, J.; GROVES, A. P.; NIKKONEN, J.; RICKEARD, D. J. **Energy and greenhouse gas balance of biofuels for Europe: an update**. Brussels: CONCAWE, 2002. 18 p. (CONCAWE. Report, 2/02). Disponível em: <<http://www.concawe.be/1FGJLPMJAJBJBHPCIKJIDBDFJPDBY9D BYW69DW3571KM/CEnet/docs/DLS/2002-00213-01-E.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2011.

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 et développement*, v. 18, 91-98, 1998.

BAKER, J. M.; OCHSNER, T. E.; VENTEREA, R. T.; GRIFFIS, T. J. Tillage and soil carbon sequestration – Wah do we really know? **Agriculture Ecosystems. Environmental**, 118, p. 1-5, 2007.

BALBINOT JR., A.A. **Uso do solo no inverno: propriedades do solo, incidência de plantas daninhas e desempenho da cultura de milho**. Curitiba, Tese (Doutorado em Produção Vegetal), 150 f. Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Paraná, 2007.

BALESDENT, J.; MARIOTTI, A; GUILLET, B. Natural ¹³C abundance as a tracer for studies of soil organic matter dynamics. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, p.25-30. 1987.

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 America Journal**, v. 52, p. 118-124, 1988.

BAYER, C.; AMARAL, A. S.; Amenização da acidez de um Latossolo argiloso por extratos aquosos de plantas de cobertura de inverno. **Revista de Ciências Agroveterinária**, v. 2, p. 88-96, 2003.

BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIEKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian cerrado soil under no-till. **Soil Tillage Research**, v.86, p.237-245, 2006.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 677-683, 2004.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; CERETTA, C. A. Efeito de sistemas de plantio direto em solo de cultivo de matéria orgânica em um Argissolo franco-argilo-arenosa do sul do Brasil monitorado por Ressonância Paramagnética Eletrônica e Ressonância Magnética Nuclear, **Soil Tillage Research**, v.53, p. 95-104, 2000.

BAYER, C.; MEILNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A., CAMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fundamentos da material orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, p. 1-26, 1999.

BERANGER, C.; ROBELIN, J. Estimation du poids du contenu digestif des bovines à partir du poids du contenu du rumen. **Annual Zootechni**, v. 27, p. 639-645, 1978.

BODDEY, R. M.; RAO, I. M.; THOMAS, R. J. Nutrient cycling and environmental impact of Brachiaria pastures. In: MILES, J. W.; MAASS, B. L.; VALLE, C. B. D. (Eds.). **Brachiaria: The Biology, Agronomy and Improvement**. CALI: Centro Internacional de Agricultura Tropical. p. 72-86, 1996.

BODDEY, R. M.; SÁ, J. C. D. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; The contribution of biological nitrogen fixation for sustainable agricultural systems in the tropic. **Soil Biology and Biochemistry**, v.29, p.787-799, 1997.

BODDEY, R. M.; SOARES, L. H. B.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Bio-ethanol production in Brazil. In: PIMENTEL, D. (Ed.). **Renewable energy systems: Environmental and Energetic Issues**. p. 96, 2008.

BORGES, E.P. História do processo Integração Agricultura-Pecuária. In: ZAMBOLIM, L.; SILVA, A.A.; AGNES, E.L. (Ed.). **Manejo da Integração Agricultura-Pecuária**. Universidade Federal de Viçosa. p. 353-384, 2004.

BOUTTON, T.W. Stable carbon isotope ratios of natural materials. II. Atmospheric, terrestrial, marine, and freshwater environments. In: COLEMAN, D.C.; FRY, B. (Eds.). **Carbon isotope techniques**. p. 155-171, 1991.

BRAIDA, J.A.; REICHERT, J. M.; SOARES, J. M. D.; REINERT, D. J.; SEQUINATO, L.; KAISER, D. R. Relações entre a quantidade de palha existente sobre

o solo e a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. CD-ROM.

BRAGA, F. L. P.; KHAN, A. S.; MERA, R. D. M. **Balço econômico da produção de mamona e balanço energético da obtenção de biodiesel no estado do Ceará.** In: XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2008, AC. Disponível em: www.sober.org.br/palestra/9/85.pdf. Acesso em: agosto, 2011.

BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Secretaria de Produção e Agroenergia. **Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011.** Embrapa Informação Tecnológica. Brasília, SPA, 2ª ed., 114 p., 2006.

BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Programa Nacional de Controle e Erradicação da Brucelose e da Tuberculose Animal (PNCEBT).** Brasília: MAPA/DAS/DAS, 188 p., 2006.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balço Energético Nacional.** Brasília, 276 p., 2010.

BREMNER J. M. & MULVANEY C. S. Nitrogen - Total. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and microbiological Properties.*, **American Society of Agronomy, Inc.**, p. 595-641, 1982.

BROSSARD, M.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D. Soil and environmental sustainability indicators for South America's savannas. **Natural Science Society.** v.13, p.266-278, 2005.

BUYANOVSKY, G.A.; ASLAM, M.; WAGNER, G.H. Carbon turnover in soil physical fractions. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.1167-1173, 1994.

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.

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, p 27-40. 1999.

CAMPOS, A. T. **Balço energético relativo à produção de feno de "coast-cross" e alfafa em sistema intensivo de produção de leite.** Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura), 259 f. Universidade Estadual Paulista, 2001.

CAMPOS A T.; CAMPOS A T. Balços energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo dos agrossistemas. **Ciência Rural**, v.34, n.6, p. 1977-1985, 2004.

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**, v. 21, p. 99-104, 1997.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.. **Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. Campos dos Goytacazes: Luciano Pasqualoto Canellas & Gabriel de A. Santos, 309 p., 2005.

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

CARDOSO, R.R.; CARVALHO, P. C. F.; CARASSAI, I. J.; FLORES, J. P. C.; NABINGER, C.; FREITAS, F. K.; MACARI, S.; TREIN, C. R.; SILVA, T. **O manejo do pastejo e seu impacto nos atributos físicos de um Argissolo vermelho em integração lavoura-pecuária**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA,. **Anais...** UFPR, 2007. CD-ROM.

CARVALHO, J. L. N. **Dinâmica do carbono e fluxo de gases de efeito estufa em sistemas de integração lavoura-pecuária na Amazônia e no Cerrado**. Piracicaba, Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do solo e nutrição de plantas), 141 f. Escola Superior “Luíz de Queiroz”, 2010.

CARVALHO, J. L. N; RAUCCI, G. S.; CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; WRUCK, F. J.; CERRI, C. C. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil stocks in Brazil. **Soil & Tillage Research**, p. 175-186, 2010.

CARVALHO, D. B.; BELLO, M.; CARVALHO, R. I. N. de; CARVALHO, P. C. F.; MORAES, A.; MACHADO, M. M. Compactação de solo em sistema de integração lavoura-pecuária na região de Guarapuava-PR. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA. **Anais...**, 2007.

CARTER, M. R. Organic Matter and Sustainability. In: REES, R. M.; BALL, B. C.; CAMPBELL, C. D. (Eds) **Sustainable management of soil organic matter**, CAB International, p. 9-22, 2001.

CASSOL, L.C. **Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. Porto Alegre. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do solo), 143 f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

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**, v.9, p.1-4. 1985.

CERRI, C. C.; MAIA, S. M. F.; GALDOS, M. V.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; BERNOUX, M. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agricola** v. 66, 831–843, 2009.

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 Environmental**. v.92, p.147-158, 2002.

CHAPUIS-LARDY, L. **Réserves et formes du phosphore de sols ferrallitiques sous végétation naturelle de Cerrados et sous pâtures** (Brésil). Stabilité du phosphore organique. Ph.D. Thesis. Université Paris 6, IRD, 1997.

CHOHFI, F. M. **Balanco, análise de emissão e seqüestro de CO₂ na geração de eletricidade excedente no setor sucro-alcooleiro**. Itajubá, Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia – Planejamento Energético), 96 f. Universidade Federal de Itajubá, 2004.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.1055-1064, 2002.

COMITRE, V. A questão energética e o padrão tecnológico da agricultura brasileira. **Informações Econômicas**, v. 25, p; 29-35, 1995.

COSTA, J. L da S. Conhecendo a microbiologia do seu solo antes de entrar no Plantio Direto. **Jornal Direto no Cerrado**, APDC, n. 6, p. 6, 1997.

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.

D'ANDRÉA, A.; SILVA, M. L; N.; CURRI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v., 39, p. 179-186, 2004.

DE MORI, C. **Mensuração do desempenho produtivo de unidades de produção agrícola considerando aspectos agroeconômicos e agroenergéticos**. Florianópolis, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina), 65f., 1988.

DIEKOW J., MIELNICZUK J., KNICKER H., BAYER C., DICK D.P., KOGEL-KNABNER I. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilisation in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil & Tillage Research**, v.81, p.87-95, 2005.

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. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 2ª ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço nacional de levantamento e conservação do solo. **Manual de métodos de análise do solo**. 1979.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa em Milho e Sorgo. Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milheto_2_ed/index.htm. Acesso em 20 de julho de 2011.

ENTZ, M.H.; BARON, V. S.; CARR, P. M.; MEYER, D. W.; SMITH, S. R.; MCCAUGHEY, JR. W. P. Potential of forages to diversify cropping systems in the Northern Great Plains. **Agronomy Journal**, v.94, p.204-213, 2002.

ENTZ, M.H.; BULLIED, W. J.; KATEPA-MUPONDWA, F. Rotational benefits of forages crops in Canadian prairie cropping systems. **Journal of Production Agriculture**, v.8, 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: FEALQ/ESALQ, p.15-34, 1989.

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

FELLER, C.; BEAR, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v.79, p.69-116. 1997.

FINANCEONE. Disponível em: <http://www.financeone.com.br/moedas/cotacoes-dolar>. Acesso em: 05 de julho de 2011;

GARCIA, R.; ROCHA, F.C.; BERNARDINO, F.S.; GOBBI, K.F. **Forrageiras utilizadas no sistema integrado agricultura-pecuária**. In: ZAMBOLIM, L. SILVA, A.A.; AGNES, E.L. (Ed.). Manejo integrado – integração agricultura-pecuária. 1. Ed. Viçosa: UFV/DFP/DFT, p. 331-351, 2004.

GASSEN, D. N.; GASSEN, F. R. **Plantio direto: o caminho do futuro**. Passo Fundo: Aldeia Sul, 207 p., 1996.

GAZZONI, D. L.; FELICI, P. H. N.; CORONATO, R. M. S. **Balanco energético das culturas de soja e girassol para produção de biodiesel**. In: Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel, p. 12-17, 2006. Disponível em: <http://biodiesel.gov.br/docs/congresso2006/agricultura/BalancoEnergetico.pdf>. Acesso em: agosto de 2011.

GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.325-334, 2003.

HARRIS, R. F.; CHESTERS, G.; ALLEN, O. N. Dynamic of soil aggregation. **Advances in Agronomy**, v. 18, p. 107-169, 1966.

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.

HETZ, E.J.; MELO, L.A. Evaluacion energetica de un sistema de produccion de maiz y trigo com cero labranza: el caso de Chequen, Concepcion, Chile. **Agro-Ciencia**, Chapingo, v.13, p.181-187, 1997.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Clean energy progress report**. IEA input to the Clean Energy Ministerial, OECD/IEA, Paris, 2011. 72 p.

IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Alterações Climáticas de 2007. **A base da ciência física: Grupo de Trabalho I contribuição para o quarto relatório de avaliação do IPCC**. Disponível em: www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm. Acesso em: dezembro de 2009.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Climatic change 2001: scientific basis, summary, for policymakers**. Cambridge: Cambridge University Press. 2001. 12p.

JANTALIA, C. P.; RESCK, D. V. S.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado. **Soil Tillage Research**, p. 97-109, 2007.

JANTALIA, C. P. **Estudo de sistemas de uso do solo e rotações de culturas em sistemas agrícolas brasileiros: dinâmica de nitrogênio e carbono no sistema solo – planta – atmosfera**. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência em Fitotecnia), 151 f. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2005.

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. S.; SILVA, J. G.; VILELA, L.; BARCELLOS, A. O.; MAGNABOSCO, C. U. **Integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional**. Embrapa Arroz e Feijão, 28p., 2000. (Circular Técnica, 38)

LAL, R. Carbon sequestration. **Philos Trans. R. Soc.** London Ser. B 363: p. 815–830, 2008

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, v.123, p1-22, 2004.

LAL, R. Residue management conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. **Soil Tillage Research**, v.43, p.81-107, 1997.

LANDERS, J. N. Tropical crop-livestock systems in conservation agriculture. The Brazilian experience. **Integrated Crop Management**, v. 5, FAO, 2007.

LANZANOVA, M.E. **Atributos físicos do solo em sistemas de culturas sob plantio direto na integração lavoura-pecuária.** Santa Maria, Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo – Ciências Rurais), 132 f., Universidade Federal de Santa Maria. 2005.

LIMA, E. A.; SILVA, H. D.; MAGALHÃES, W. L. E.; THOMAZ, D. T. Balanço energético da produção de *Eucalyptus benthamii* para uso em programas de bioenergia. (**Comunicado Técnico 183** – Embrapa Florestas, 2007.

LIMA E, BODDEY R M, DÖBEREINER, J. Quantification of biological nitrogen fixation associated with sugar cane using a ¹⁵N aided nitrogen balance, **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, p.165-170. 1987.

LOSS, A. **Dinâmica da matéria orgânica, fertilidade e agregação do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso no cerrado goiano.** Seropédica, Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do solo), 133 f. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,, 2011.

MACEDO, I. C. Greenhouse gas emissions and energy balances in bio-ethanol production and utilization in Brazil (1996). **Biomass and Bioenergy**, v. 14, p 77-81, 1998.

MACEDO, I. C.; SEABRA, J. E. A.; SILVA, J. E. A. R. Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, p. 582-595, 2008.

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,. **Anais....** p.31-45, 2001. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos,123 / Embrapa Cerrados. Documentos, 28).

MALÇA, J.; ROZAKIS, S.; FREIRE, F. **Análise energética do ciclo de vida de biocombustíveis: aplicação à fileira do bioetanol em França.** In: 3ª Jornada Politécnicas de Engenharia, p.19-20, 2003. Disponível em: www2.dem.uc.pt/fausto.freire/gestao_energia/_.../3JPE_2003.pdf. Acesso em: agosto, 2011.

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**, p. 442-450, 2009.

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**, v.42, p.873-882, 2007.

MARIOTTI, A. Atmospheric nitrogen is a reliable standart for natural ^{15}N abundance measurements. **Nature**, v. 303, p. 685-687, 1983.

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

MARTIUS, C.; TIESSEN, H.; VLEK, P.L.G. **Managing soil organic matter in tropical soils: scope and limitations**. Dordrecht: Kluwer,. 235p. 2001.

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 University press, p. 199-212, 1999.

MELILLO, J. M.; ABER, J. D.; LINKINDS, A. E.; RICCA, A; FRY, B.; NADELHOFFER, K. J. Carbon and nitrogen dynamics along the decay continuum: plant litter to soil organic matter. **Plant and Soil**, The Hague, v. 115, p. 189-198, 1989.

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**, v.24, p.121-129, 2004.

MELO, D.; PEREIRA, J. O.; SOUZA E. G.; GABRIEL FILHO, A.; NÓBREGA, L. H. P.; PINHEIRO NETO, R. Balanço energético do sistema de produção de soja e milho em uma propriedade agrícola do Oeste do Paraná. **Acta Scientific Agronomy**, v. 29, p. 173-178, 2007.

MF RURAL. Disponível em: <http://comprar-vender.mfrural.com.br/detalhe/inoculante-turfoso-para-soja-73575.aspx>. Acesso em 25 de julho de 2011.

MIELNICZUK, J. Matéria Orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Genesis, Porto Alegre. RS, p.1-8, 1999.

MORAES, S. S. Importância da suplementação mineral para bovinos de corte. Embrapa Gado de Corte, 26 p.. **Documentos 114**, 2001.

MORAES, A., PELISSARI, A., ALVES, S.J.. **Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil**. In: MELLO, N.A., ASSMANN, T.S. (Eds.). I Encontro de integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. p.3-42. 2002.

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

NODUSOJA, Tecnologia gerando produtividade. Disponível em: <http://www.nodusoja.com.br/produto.php?id=33&cat=35&pai=0>. Acesso em: 25 de julho de 2011.

- ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1984. 434 p.
- OLIVEIRA JÚNIOR, E. D. de. **Análise Energética de Dois Sistemas de Colheitas Mecanizadas de Eucalipto. Piracicaba, Tese**, (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz), 74 f. Universidade de São Paulo, 2005.
- PALM, C. A.; GILLER, K. E.; MAFONGOYA, P. L.; SWIFT, M. J. Management of organic matter in the tropics: translating theory into practice. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 61, p. 63-75, 2001.
- PELLIZZI, G. Use of energy in Italian agriculture. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 52, p. 111-119, 1992.
- PIMENTEL, D. The limits of biomass utilization. In **The Encyclopedia of Physical Science and Technology**. New York: Academic Press, 325 p., 2001.
- PIMENTEL, D. (Ed.). **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC Press, 475 p., 1980.
- PIMENTEL, D. **Energy flow in the food system**. In: PIMENTEL, D., HALL, C. W. (Eds.). **Food and energy resources** Academic Press, p. 1-24, 1984.
- PROBIO. **Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira**. 2004. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em: março de 2010.
- RAO, S.C. PHILIPS, W. A.; MAYEUX, H. S.; PHATAK, S. C. Potential grain and forage production of early maturing pigeonpea in the Southern Great Plains. **Crop Science**, v.43, p.2212-2217, 2003.
- 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 (CD-ROM).
- ROMANELLI, T. R. **Modelagem do balanço energético na alimentação suplementar para bovinos**. Piracicaba, Dissertação (Faculdade de Agronomia, Máquinas Agrícolas, 110 f., Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz, Universidade de São Paulo,, 2002.
- ROSCOE, R; BURMMAN, 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**, v.104, p.185-202. 2001.
- ROSCOE, R; BURMMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado oxisol. **Soil & Tillage Research**, v.1771, p.1-13. 2003.
- ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudo da matéria orgânica**. Embrapa: Dourados, 86 p., 2002.

ROSCOE, R. (Org.); MERCANTE, Fábio Martins (Org.); SALTON, Júlio César (Org.). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: Modelagem matemática e métodos auxiliares.** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006.

ROSTAGNO, H. S. (Ed.); ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; GOMES, P. C.; OLIVEIRA, R. F.; LOPES, D. C.; FERREIRA, A. S.; BARRETO, S. L. T. **Tabelas brasileiras para aves e suínos. Composição de alimentos e exigências nutricionais** (2ª ed.), Viçosa:UFV – Departamento de Zootecnia, 2005.

RUSSELLE, M.P. et al. Reconsidering integrated crop-livestock systems in North America. **Agronomy Journal**, v.99, p.325-334, 2007. Disponível em: <<http://agron.scijournal.org/cgi/content/abstract/99/2/325>>. Doi: 10.2134/agronj2006.0139. Acesso em janeiro de 2010.

SÁ, J.C.M. et al. Avaliação do desenvolvimento radicular e atributos de genótipos de milho submetidos a níveis de palha no sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, v.80, p.46-60, 2004.

SANT'ANA, N. F.; FONTES, C. A. A.; SILVA, R. S. T.; GARCIA, C. S.; VIEIRA, R. A. M.; ROCHA, T. C. Body composition and net requirements of protein and energy for weight gain of Nellore and crossbreed steers finished under grazing. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 912-921, 2011.

SANTOS, H. P.; TOMM, G. O.; SPERA, S. T.; ÁVILA, A. Efeito de práticas culturais na conversão e no balanço energéticos. **Bragantia**, v. 66, p. 299-306, 2007.

SCHARMER, K.; GOSSE, G. Energy balance, ecological impact and economics of bio-diesel production in Europe. **ALTENER program 41030/E/94-002-01**, GET/INRA, 1996. 96 p.

SEAPA – SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO DO DF. **Lei nº504, de 22 de julho de 1993.** Disponível em: www.sa.df.gov.br. Acesso em julho de 2011.

SILVA, J. E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrado do oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 541-547, 1994.

SISTI, C. P. J. **Influência de sistemas de preparo do solo e manejo de culturas sobre o estoque de carbono e nitrogênio do solo em diferentes condições agrícolas.** Seropédica, Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2001.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P. ; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen in soil under 13 years of conventional and no-tillage in southern Brazil. **Soil Tillage Research**, v.76, p.39-58, 2004.

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.

SMITH B.N.; EPSTEIN S. Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higher plants. **Plant Physiology**, v.47, p.380-384. 1971.

SMITH J. L. ; MYUNG H. U.. Rapid procedures for preparing soil and KCl extracts for ^{15}N analysis. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v.21, p.2273-2279. 1990.

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.

SOARES, L. H. B.; MUNIZ, L. C.; FIGUEIREDO, R. S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; MADARI, B. E.; MACHADO, P. L. O. A. **Balanco energético de um sistema integrado lavoura-pecuária no Cerrado**. Embrapa Agrobiologia, 32 p., 2007, (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 26).

SOARES, L. H. B.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; MACHADO, P. L. O. A.; MADARI, B. E.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. **Avaliação da sustentabilidade energética de culturas em safrinha na região do Cerrado brasileiro**. Embrapa Agrobiologia, 20p, 2009, (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 38).

SULC, R.M.; TRACY, B.F. Integrated crop-livestock systems in the U.S. corn belt. **Agronomy Journal**, v.99, p.335-345, 2007.

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.

URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; ZOTARELLI, L.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Manejo de sistemas agrícolas para seqüestro de carbono no solo. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (Ed.). **Processos biológicos no sistema solo-planta**. Embrapa. Brasília, DF. P. 323-342, 2005.

URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Produção de biocombustíveis: a questão do balanço energético. **Revista Política Agrícola**, Ano XIV, 5 p., 2005.

VAN DEN BYGAART, A. J.; GREGORICH, E. G.; ANGERS, D. A. Influence of agricultural management on soil organic carbon: a compendium and assessment of Canadian studies, **Canadian Journal. Soil Science**. p. 363–380, 2003.

VELKAMP, E. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation, **Soil Science Society of America Journal**, p. 175–180, 1994.

VITORELLO, V. A.; DERRI, C.; ANDREUX, F.; FELLER, C. VICTÓRIA, R. L. Organic matter and natural carbon-13 distribution in forested and cultivated oxissols. **Soil Science Society of America Journal**, v. 53, p. 773-778, 1989.

WEST, T. O.; MARLAND, G. A. Synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States, **Agriculture Ecosystems and Environment**, p. 217-232, 2002.

WEST, T. O.; POST, W. M. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis, **Soil Science Society of America Journal** 66, p. 1930-1946, 2002.

14. ANEXOS

Anexo 1. Produtividade anual de grãos em produção contínua e integrada.

Ano	Cultura	Sistema					
		S ₃ PT ₁	S ₃ PT ₂	S ₃ LT ₁	S ₃ LT ₂	S ₄ T ₁	S ₄ T ₂
Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)							
1991	Soja	-	-	2260	2260	2260	2260
1992	Soja	-	-	1500	1250	1500	1250
1993	Milho	-	-	7000	7200	7000	7200
1994	Soja	-	-	2000	2300	2000	2300
1995	Milho	4260	4100	-	-	4260	4100
1996	Soja	3189,20	3233,24	-	-	2000	2000
1997	Milho	4260	4100	-	-	6500	7000
1998	Soja	3189,20	3233,24	-	-	1600	1800
1999	Soja	-	-	2100	2100	2490	3022
2000	Milheto	-	-	1000	1000	1000	1000
2001	Soja	-	-	2755	2900	2905	3018
2002	Milheto	-	-	500	500	500	500
2003	Soja	-	-	1068,85	568,24	1010,98	1021,70
2004	Soja	2301,15	2117,48	-	-	2344,50	2681,95
2005	Sorgo	1542,20	2644,33	-	-	1510,16	3153,06
2006	Soja	4077,25	4349	-	-	4465,7	4320,55
2007	Soja	-	-	3540,35	3003,15	3078,6	3043,9
2008	Milho	-	-	10299,95	8425,2	9882,9	8277,2
2009	Soja	-	-	1593,05	2556,95	1527,7	1769,55
2010	Soja	-	-	2102,16	2117,29	2265,21	2373,97

Anexo 2. Total de insumos consumido no sistema de pastagem contínua em monocultivo de gramínea (S1) (Continua).

Insumos	Unidade	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Calcário	Mg ha ⁻¹	5,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	40,00	-	-	-	40,00	-
P2O5	kg ha ⁻¹	90,00	-	-	20,00	164,00	-	20,00	-	44,00	-
K2O	kg ha ⁻¹	-	-	-	20,00	84,00	-	20,00	-	44,00	-
Micronutrientes	kg ha ⁻¹	30,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Semente gramínea	kg ha ⁻¹	10,00	-	-	-	10,00	-	-	-	-	-
Semente milho	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	20,00	-	-	-	-	-
Inseticidas	g IA ha ⁻¹	8,00	8,00	8,00	8,00	111,75	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Fungicidas milho	g IA ha ⁻¹	-	-	-	-	1452,50	-	-	-	-	-
Herbicida	g IA ha ⁻¹	-	-	-	-	1320,0	-	-	-	-	-
Febre aftosa	g IA ha ⁻¹	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64
Raiva bovina	g IA ha ⁻¹	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64
Brucelose	g IA ha ⁻¹	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82
Ciper (Pour-on)	g IA ha ⁻¹	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75
Sal mineral	kg.ha ⁻¹	9,83	6,88	6,88	6,88	6,88	6,88	6,88	6,88	6,88	6,88
Óleo mineral parafínico	mL ha ⁻¹	-	-	-	-	75,00	-	-	-	-	-
Óleo diesel	L ha ⁻¹	83,30	-	-	0,30	23,44	-	0,30	-	39,80	-
Mão-de-obra	Horas.ha ⁻¹	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00

Anexo 2. Continuação

Insumos	Unidade	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Calcário	Mg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	1,10	-	-	-	-
N	kg ha ⁻¹	40,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P ₂ O ₅	kg ha ⁻¹	30,00	30,00	-	-	-	-	-	-	-	-
K ₂ O	kg ha ⁻¹	40,00	60,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Semente gramínea	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inseticidas	g IA ha ⁻¹	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Febre aftosa	mL ha ⁻¹	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64
Raiva bovina	mL ha ⁻¹	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64
Brucelose	mL ha ⁻¹	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82
Ciper (Pour-on)	g IA ha ⁻¹	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75
Sal mineral	kg ha ⁻¹	6,88	6,88	6,88	6,88	6,88	6,88	6,88	6,88	6,88	6,88
Óleo diesel	L ha ⁻¹	0,30	0,30	-	-	-	3,37	-	-	-	-
Mão-de-obra	Horas.ha ⁻¹	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00

Anexo 3. Total de insumos consumido no sistema de pastagem contínua de monocultivo gramínea consorciado com leguminosa (S2) (Continua).

Insumos	Unidade	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Calcário	Mg ha ⁻¹	5,80	-	-	-	-	-	-	1,00	-	-
N	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P ₂ O ₅	kg ha ⁻¹	90,00	-	-	20,00	164,00	-	20,00	-	44,00	-
K ₂ O	kg ha ⁻¹	-	-	-	20,00	104,00	-	20,00	-	44,00	-
Micros	kg ha ⁻¹	30,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Semente gramínea	kg ha ⁻¹	10,00	-	-	-	-	-	-	-	5,00	-
Semente leguminosa	kg ha ⁻¹	1,40	-	-	-	1,40	-	-	-	-	-
Semente milho	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	20,00	-	-	-	-	-
Inseticidas	g IA ha ⁻¹	8,00	8,00	8,00	8,00	111,75	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Fungicidas milho	g IA ha ⁻¹	-	-	-	-	1452,50	-	-	-	-	-
Herbicidas milho	g IA ha ⁻¹	-	-	-	-	1320,0	-	-	-	-	-
Febre aftosa	mL ha ⁻¹	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72
Raiva bovina	mL ha ⁻¹	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72
Brucelose	mL ha ⁻¹	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86
Ciper (Pour-on)	mL ha ⁻¹	2,69	3,69	4,69	5,69	6,69	7,69	8,69	9,69	10,69	11,69
Sal mineral	Kg ha ⁻¹	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25
Óleo mineral parafínico	mL ha ⁻¹	-	-	-	-	75,00	-	-	-	-	-
Óleo diesel	Litros.ha ⁻¹	83,30	-	-	0,30	23,44	-	0,30	3,37	39,80	-
Mão-de-obra	Horas.ha ⁻¹	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00

Anexo 3. Continuação.

Insumos	Unidade	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Calcário	Mg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-	1,10	-	-	-
N	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P ₂ O ₅	kg ha ⁻¹	30,00	30,00	-	-	-	-	-	-	-	-
K ₂ O	kg ha ⁻¹	40,00	60,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Semente gramínea	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	5,00	-	-	-	-
Semente leguminosa	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	25,00	-	-	-	-
Inseticidas	g IA ha ⁻¹	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Febre aftosa	mL ha ⁻¹	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72
Raiva bovina	mL ha ⁻¹	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72	3,72
Brucelose	mL ha ⁻¹	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86
Ciper (Pour-on)	mL ha ⁻¹	12,69	13,69	14,69	15,69	16,69	17,69	18,69	19,69	20,69	21,69
Sal mineral	Kg ha ⁻¹	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25
Óleo diesel	L ha ⁻¹	0,30	0,30	-	-	-	-	43,31	-	-	-
Mão-de-obra	Horas ha ⁻¹	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00

Anexo 4. Total de insumos consumido no sistema de ILP, rotação iniciada com pastagem, sob preparo convencional do solo (S3PT1) (Continua).

Insumos	Unidade	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Calcário	Mg ha ⁻¹	5,80	-	-	-	-	-	-	-	1,70	-
N	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	80,00	-	70,00	-	-	-
P ₂ O ₅	kg ha ⁻¹	90,00	-	-	-	100,00	90,00	102,00	83,00	16,00	-
K ₂ O	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	100,00	90,00	61,00	83,00	16,00	-
Micronutrientes	kg ha ⁻¹	30,00	-	-	-	22,00	-	1,60	1,20	-	-
Inoculante soja	Dose ha ⁻¹	-	-	-	-	-	1,26	-	1,26	-	-
Semente (Soja)	Kg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	63,00	-	63,00	-	-
Semente (Milho)	Kg ha ⁻¹	-	-	-	-	20,00	-	20,00	-	-	-
Semente pastagem	Kg ha ⁻¹	10,00	-	-	-	-	-	-	-	10,00	-
Inseticidas	g IA ha ⁻¹	8,00	8,00	8,00	8,00	119,75	69,75	73,00	29,90	8,00	8,00
Fungicidas	g IA ha ⁻¹	-	-	-	-	1452,50	243,00	1477,50	308,00	-	-
Herbicidas	g IA ha ⁻¹	-	-	-	-	1320,00	122,35	1320,00	122,35	-	-
Óleo mineral parafínico	mL ha ⁻¹	-	-	-	-	375,00	375,00	375,00	450,00	-	-
Febre aftosa	mL ha ⁻¹	6,84	6,84	6,84	6,84	-	-	-	-	6,84	6,84
Raiva bovina	mL ha ⁻¹	6,84	6,84	6,84	6,84	-	-	-	-	6,84	6,84
Brucelose	mL ha ⁻¹	3,42	3,42	3,42	3,42	-	-	-	-	3,42	3,42
Ciper (Pour-on)	g IA ha ⁻¹	5,30	6,30	7,30	8,30	-	-	-	-	8,30	8,30
Sal mineral	kg ha ⁻¹	18,47	18,47	18,47	18,47	-	-	-	-	18,47	18,47
Óleo diesel	Litros ha ⁻¹	77,52	-	-	-	24,72	53,49	53,49	60,49	46,29	-
Mão-de-obra	Horas ha ⁻¹	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00

Anexo 4. Continuação.

Insumos	Unidade	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Calcário	Mg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	1,10	-	-	-	-
N	kg ha ⁻¹	-	40,00	-	10,00	63,00	-	-	-	-	-
P ₂ O ₅	kg ha ⁻¹	-	30,00	-	100,00	71,00	103,00	-	-	-	-
K ₂ O	kg ha ⁻¹	-	30,00	-	90,00	71,00	103,00	-	-	-	-
Inoculante soja	Dose ha ⁻¹	-	-	-	1,26	-	1,26	-	-	-	-
Semente (Soja)	kg ha ⁻¹	-	-	-	63,00	-	63,00	-	-	-	-
Semente (Milheto)	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-	15,00	-	-	-
Semente (Sorgo)	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	4,30	-	-	-	-	-
Semente pastagem	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-	10,00	-	-	-
Inseticidas	g IA ha ⁻¹	8,00	8,00	8,00	15,50	3,08	69,75	8,00	8,00	8,00	8,00
Fungicidas	g IA ha	-	-	-	582,50	-	495,00	-	-	-	-
Herbicidas	g IA ha	-	-	-	122,35	-	122,35	-	-	-	-
Óleo mineral parafínico	mL ha ⁻¹	-	-	-	675,00	-	600,00	-	-	-	-
Febre aftosa	mL ha ⁻¹	6,84	6,84	6,84	-	-	-	6,84	6,84	6,84	6,84
Raiva bovina	mL ha ⁻¹	6,84	6,84	6,84	-	-	-	6,84	6,84	6,84	6,84
Brucelose	mL ha ⁻¹	3,42	3,42	3,42	-	-	-	3,42	3,42	3,42	3,42
Ciper (Pour-on)	g IA ha ⁻¹	8,30	8,30	8,30	-	-	-	8,30	8,30	8,30	8,30
Sal mineral	kg ha ⁻¹	18,47	18,47	18,47	-	-	-	18,47	18,47	18,47	18,47
Óleo diesel	Litros ha ⁻¹	-	0,30	-	54,69	51,99	56,19	51,99	-	-	-
Mão-de-obra	Horas ha ⁻¹	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00

Anexo 5. Total de insumos consumido no sistema de ILP, rotação iniciada com pastagem, sob SPD (S3PT2) (Continua).

Operações	Unidade	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Calcário	Mg ha ⁻¹	5,80	-	-	-	-	-	-	-	1,70	-
N	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	80,00	-	70,00	-	-	-
P ₂ O ₅	kg ha ⁻¹	90,00	-	-	-	100,00	90,00	102,00	83,00	16,00	-
K ₂ O	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	100,00	90,00	61,00	83,00	16,00	-
Micronutrientes	kg ha ⁻¹	30,00	-	-	-	22,00	-	1,60	1,20	-	-
Inoculante soja	Dose ha ⁻¹	-	-	-	-	-	1,26	-	1,26	-	-
Semente (Soja)	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	63,00	-	63,00	-	-
Semente (Milho)	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	20,00	-	20,00	-	-	-
Semente pastagem	kg ha ⁻¹	10,00	-	-	-	-	-	-	-	10,00	-
Inseticidas	g IA ha ⁻¹	8,00	8,00	8,00	8,00	119,75	69,75	73,00	29,90	8,00	8,00
Fungicidas	g IA ha ⁻¹	-	-	-	-	1452,50	243,00	1477,50	308,00	-	-
Herbicidas	g IA ha ⁻¹	-	-	-	-	2760,00	1562,35	2760,00	1562,35	-	-
Óleo mineral parafínico	mL ha ⁻¹	-	-	-	-	450,00	450,00	225,00	525,00	-	-
Febre aftosa	mL ha ⁻¹	6,22	6,22	6,22	6,22	-	-	-	-	6,22	6,22
Raiva bovina	mL ha ⁻¹	6,22	6,22	6,22	6,22	-	-	-	-	6,22	6,22
Brucelose	mL ha ⁻¹	3,11	3,11	3,11	3,11	-	-	-	-	3,11	3,11
Ciper (Pour-on)	mL ha ⁻¹	4,80	4,80	4,80	4,80	-	-	-	-	4,80	4,80
Sal mineral	kg ha ⁻¹	16,79	16,79	16,79	16,79	-	-	-	-	16,79	16,79
Óleo diesel	Litros ha ⁻¹	77,52	-	-	-	25,02	53,79	14,29	14,59	6,79	-
Mão-de-obra	Horas ha ⁻¹	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00

Anexo 5. Continuação.

Operações	Unidade	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Calcário	Mg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	1,10	-	-	-	-
N	kg ha ⁻¹	-	40,00	-	10,00	63,00	-	-	-	-	-
P ₂ O ₅	kg ha ⁻¹	-	30,00	-	100,00	71,00	103,00	-	-	-	-
K ₂ O	kg ha ⁻¹	-	30,00	-	90,00	71,00	103,00	-	-	-	-
Inoculante soja	Dose ha ⁻¹	-	-	-	1,26	-	1,26	-	-	-	-
Semente (Soja)	kg ha ⁻¹	-	-	-	63,00	-	63,00	-	-	-	-
Semente (Milheto)	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-	15,00	-	-	-
Semente (Sorgo)	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	4,30	-	-	-	-	-
Semente pastagem	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-	10,00	-	-	-
Inseticidas	g IA ha ⁻¹	8,00	8,00	8,00	23,00	8,00	69,75	8,00	8,00	8,00	8,00
Fungicidas	g IA ha ⁻¹	-	-	-	582,50	-	495,00	-	-	-	-
Herbicidas	g IA ha ⁻¹	-	-	-	1562,35	1440,00	1562,35	1440,00	-	-	-
Óleo mineral parafínico	mL ha ⁻¹	-	-	-	750,00	75,00	675,00	75,00	-	-	-
Febre aftosa	mL ha ⁻¹	6,22	6,22	6,22	-	-	-	6,22	6,22	6,22	6,22
Raiva bovina	mL ha ⁻¹	6,22	6,22	6,22	-	-	-	6,22	6,22	6,22	6,22
Brucelose	mL ha ⁻¹	3,11	3,11	3,11	-	-	-	3,11	3,11	3,11	3,11
Ciper (Pour-on)	mL ha ⁻¹	4,80	4,80	4,80	-	-	-	4,80	4,80	4,80	4,80
Sal mineral	kg ha ⁻¹	16,79	16,79	16,79	-	-	-	16,79	16,79	16,79	16,79
Óleo diesel	Litros ha ⁻¹	-	0,30	-	15,49	12,79	16,99	12,49	-	-	-
Mão-de-obra	Horas ha ⁻¹	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00

Anexo 6. Total de insumos consumido no sistema de ILP, rotação iniciada com lavoura, sob preparo convencional do solo (S3LT1) (Continua).

Insumos	Unidade	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Calcário	Mg ha ⁻¹	5,80	-	-	-	-	-	-	-	1,70	-
N	kg ha ⁻¹	-	-	80,00	-	-	-	-	-	-	5,00
P ₂ O ₅	kg ha ⁻¹	98,00	100,00	100,00	100,00	-	-	20,00	-	100,00	50,00
K ₂ O	kg ha ⁻¹	98,00	100,00	60,00	100,00	-	-	20,00	-	100,00	45,00
Micronutrientes	kg ha ⁻¹	63,00	-	2,00	-	-	-	-	-	-	-
Gesso	Mg ha ⁻¹	2,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inoculante	Dose ha ⁻¹	1,26	1,26	-	1,26	-	-	-	-	1,26	-
Semente (Soja)	kg ha ⁻¹	63,00	63,00	-	63,00	-	-	-	-	63,00	-
Semente (Milho)	kg ha ⁻¹	-	-	20,00	-	-	-	-	-	-	-
Semente (Milheto)	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15,00
Semente pastagem	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	10,00	-	-	-	-	-
Inseticidas	g IA ha ⁻¹	23,00	69,75	73,00	29,90	8,00	8,00	8,00	8,00	69,75	8,00
Fungicidas	g IA ha ⁻¹	258,00	293,00	1477,50	308,00	-	-	-	-	243,00	-
Herbicidas	g IA ha ⁻¹	122,35	122,35	1320,00	122,35	-	-	-	-	122,35	-
Óleo mineral parafínico	mL ha ⁻¹	450,00	375,00	375,00	450,00	-	-	-	-	375,00	-
Febre aftosa	mL ha ⁻¹	-	-	-	-	6,84	6,84	6,84	6,84	-	-
Raiva bovina	mL ha ⁻¹	-	-	-	-	6,84	6,84	6,84	6,84	-	-
Brucelose	mL ha ⁻¹	-	-	-	-	3,42	3,42	3,42	3,42	-	-
Ciper (Pour-on)	mL ha ⁻¹	-	-	-	-	5,30	6,30	7,30	8,30	-	-
Sal mineral	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	18,47	18,47	18,47	18,47	-	-
Óleo diesel	Litros ha ⁻¹	88,62	84,72	84,72	85,02	-	-	0,30	-	55,29	51,69
Mão-de-obra	Horas ha ⁻¹	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00

Anexo 6. Continuação.

Insumos	Unidade	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Calcário	Mg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-	1,10	-	-	-
N	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	120,00	-	-
P ₂ O ₅	kg ha ⁻¹	100,00	-	100,00	-	-	-	49,00	75,00	20,00	20,00
K ₂ O	kg ha ⁻¹	100,00	-	100,00	-	-	-	49,00	56,25	20,00	20,00
Inoculante	Dose ha ⁻¹	1,26	-	1,26	-	-	-	1,26	-	1,26	1,26
Semente (Soja)	kg ha ⁻¹	63,00	-	63,00	-	-	-	63,00	-	63,00	63,00
Semente (Milho)	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	20,00	-	-
Semente (Milheto)	kg ha ⁻¹	-	15,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Semente pastagem	kg ha ⁻¹	-	-	10,00	-	-	-	-	-	-	-
Inseticidas	g IA ha ⁻¹	23,00	3,08	69,75	8,00	8,00	8,00	29,90	73,00	69,75	30,50
Fungicidas	g IA ha ⁻¹	308,00	-	243,00	-	-	-	582,50	1635,50	495,00	582,50
Herbicidas	g IA ha ⁻¹	122,35	-	122,35	-	-	-	1440,00	1320,00	1440,00	1440,00
Óleo mineral parafínico	mL ha ⁻¹	450,00	-	375,00	-	-	-	675,00	525,00	600,00	750,00
Febre aftosa	mL ha ⁻¹	-	-	6,84	6,84	6,84	6,84	-	-	-	-
Raiva bovina	mL ha ⁻¹	-	-	6,84	6,84	6,84	6,84	-	-	-	-
Brucelose	mL ha ⁻¹	-	-	3,42	3,42	3,42	3,42	-	-	-	-
Ciper (Pour-on)	mL ha ⁻¹	-	-	8,30	8,30	8,30	8,30	-	-	-	-
Sal mineral	kg ha ⁻¹	-	-	18,47	18,47	18,47	18,47	-	-	-	-
Óleo diesel	Litros ha ⁻¹	53,49	51,69	53,49	-	-	-	56,49	54,09	54,09	54,69
Mão-de-obra	Horas ha ⁻¹	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00

Anexo 7. Total de insumos consumido no sistema de ILP, rotação iniciada com lavoura, sob SPD (S3LT2) (Continua).

Insumos	Unidade	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Calcário	Mg ha ⁻¹	5,80	-	-	-	-	-	-	-	1,70	-
N	kg ha ⁻¹	-	-	80,00	-	-	-	-	-	-	5,00
P ₂ O ₅	kg ha ⁻¹	98,00	100,00	100,00	100,00	-	-	20,00	-	100,00	50,00
K ₂ O	kg ha ⁻¹	98,00	100,00	60,00	100,00	-	-	20,00	-	100,00	45,00
Micros	kg ha ⁻¹	63,00	-	2,00	-	-	-	-	-	-	-
Gesso	Mg ha ⁻¹	2,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inoculante	Dose ha ⁻¹	1,26	1,26	-	1,26	-	-	-	-	1,26	-
Semente (Soja)	kg ha ⁻¹	63,00	63,00	-	63,00	-	-	-	-	63,00	-
Semente (Milho)	kg ha ⁻¹	-	-	20,00	-	-	-	-	-	-	-
Semente (Milheto)	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15,00
Semente pastagem	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	10,00	-	-	-	-	-
Inseticidas	g IA ha ⁻¹	23,00	69,75	73,00	29,90	8,00	8,00	8,00	8,00	69,75	8,00
Fungicidas	g IA ha ⁻¹	258,00	293,00	1477,50	308,00	-	-	-	-	243,00	-
Herbicidas	g IA ha ⁻¹	1562,35	1562,35	2760,00	1562,35	-	-	-	-	1562,35	1440,00
Óleo mineral parafínico	mL ha ⁻¹	525,00	450,00	450,00	525,00	-	-	-	-	450,00	75,00
Febre aftosa	mL ha ⁻¹	-	-	-	-	6,22	6,22	6,22	6,22	-	-
Raiva bovina	mL ha ⁻¹	-	-	-	-	6,22	6,22	6,22	6,22	-	-
Brucelose	mL ha ⁻¹	-	-	-	-	3,11	3,11	3,11	3,11	-	-
Ciper (Pour-on)	mL ha ⁻¹	-	-	-	-	4,80	4,80	4,80	4,80	-	-
Sal mineral	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	16,79	16,79	16,79	16,79	-	-
Óleo diesel	Litros ha ⁻¹	87,42	85,01	85,01	85,31	-	-	0,3	-	16,09	12,79
Mão-de-obra	Horas ha ⁻¹	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00

Anexo 7. Continuação.

Insumos	Unidade	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Calcário	Mg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-	1,10	-	-	-
N	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	120,00	-	-
P ₂ O ₅	kg ha ⁻¹	100,00	-	100,00	-	-	-	49,00	75,00	20,00	20,00
K ₂ O	kg ha ⁻¹	100,00	-	100,00	-	-	-	49,00	56,25	20,00	20,00
Micros	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gesso	Mg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inoculante	Dose ha ⁻¹	1,26	-	1,26	-	-	-	1,26	-	1,26	1,26
Semente (Soja)	kg ha ⁻¹	63,00	-	63,00	-	-	-	63,00	-	63,00	63,00
Semente (Milho)	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	20,00	-	-
Semente (Milheto)	kg ha ⁻¹	-	15,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Semente pastagem	kg ha ⁻¹	-	-	10,00	-	-	-	-	-	-	-
Inseticidas	g IA ha ⁻¹	23,00	3,08	69,75	8,00	8,00	8,00	29,90	24,00	69,75	23,00
Fungicidas	g IA ha ⁻¹	308,00	-	243,00	-	-	-	582,50	1635,50	495,00	582,50
Herbicidas	g IA ha ⁻¹	1562,35	1440,00	1562,35	-	-	-	2880,00	2760,00	2880,00	2880,00
Óleo mineral parafínico	mL ha ⁻¹	525,00	75,00	450,00	-	-	-	750,00	600,00	675,00	825,00
Febre aftosa	mL ha ⁻¹	-	-	6,22	6,22	6,22	6,22	-	-	-	-
Raiva bovina	mL ha ⁻¹	-	-	6,22	6,22	6,22	6,22	-	-	-	-
Brucelose	mL ha ⁻¹	-	-	3,11	3,11	3,11	3,11	-	-	-	-
Ciper (Pour-on)	mL ha ⁻¹	-	-	4,80	4,80	4,80	4,80	-	-	-	-
Sal mineral	kg ha ⁻¹	-	-	16,79	16,79	16,79	16,79	-	-	-	-
Óleo diesel	Litros ha ⁻¹	14,59	12,49	14,29	-	-	-	17,29	14,89	14,89	15,49
Mão-de-obra	Horas ha ⁻¹	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00

Anexo 8. Total de insumos consumido no sistema de lavoura contínua, sob preparo convencional do solo (S4T1) (Continua).

Operações	Unidade	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Calcário	Mg ha ⁻¹	5,80	-	-	-	-	-	-	-	1,70	-
N	kg ha ⁻¹	-	-	80,00	-	80,00	-	70,00	-	-	5,00
P ₂ O ₅	kg ha ⁻¹	98,00	100,00	100,00	100,00	100,00	90,00	102,00	83,00	100,00	50,00
K ₂ O	kg ha ⁻¹	98,00	100,00	60,00	100,00	100,00	90,00	61,00	83,00	100,00	45,00
Micronutrientes	kg ha ⁻¹	63,00	-	2,00	-	22,00	63,00	1,60	1,20	-	-
Gesso	Mg ha ⁻¹	2,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inoculante	Dose ha ⁻¹	1,26	1,26	-	1,26	-	1,26	-	1,26	1,26	-
Sementes (Soja)	kg ha ⁻¹	63,00	63,00	-	63,00	-	63,00	-	63,00	63,00	-
Semente (Milho)	kg ha ⁻¹	-	-	20,00	-	20,00	-	20,00	-	-	-
Semente (Milheto)	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15,00
Inseticidas	g IA ha ⁻¹	23,00	69,75	73,00	29,90	119,75	69,75	73,00	23,00	69,75	8,00
Fungicidas	g IA ha ⁻¹	258,00	293,00	1477,50	308,00	1452,50	243,00	1477,50	308,00	243,00	-
Herbicidas	g IA ha ⁻¹	122,35	122,35	1320,00	122,35	1320,00	122,35	1320,00	122,35	122,35	-
Óleo mineral parafínico	mL ha ⁻¹	450,00	375,00	375,00	450,00	375,00	375,00	300,00	450,00	375,00	-
Óleo diesel	Litros ha ⁻¹	88,62	84,72	84,72	85,02	84,72	53,49	53,19	53,79	55,29	51,99
Mão-de-obra	Horas ha ⁻¹	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00

Anexo 8. Continuação.

Operações	Unidade	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Calcário	Mg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	1,10	-	-	-	-
N	kg ha ⁻¹	-	-	-	10,00	63,00	-	-	120,00	-	-
P ₂ O ₅	kg ha ⁻¹	100,00	-	100,00	100,00	71,00	103,00	49,00	75,00	20,00	20,00
K ₂ O	kg ha ⁻¹	100,00	-	100,00	90,00	71,00	103,00	49,00	56,25	20,00	20,00
Inoculante	Dose ha ⁻¹	1,26	-	1,26	1,26	-	1,26	1,26	-	1,26	1,26
Sementes (Soja)	kg ha ⁻¹	63,00	-	63,00	63,00	-	63,00	63,00	-	63,00	63,00
Semente (Milho)	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	20,00	-	-
Sementes (Sorgo)	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	4,30	-	-	-	-	-
Semente (Milheto)	kg ha ⁻¹	-	15,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Inseticidas	g IA ha ⁻¹	29,90	8,00	69,75	23,00	8,00	69,75	29,90	73,00	69,75	30,50
Fungicidas	g IA ha ⁻¹	308,00	-	243,00	582,50	0,00	495,00	582,50	1635,50	495,00	582,50
Herbicidas	g IA ha ⁻¹	122,35	-	122,35	122,35	0,00	122,35	960,00	1320,00	960,00	960,00
Óleo mineral parafínico	mL ha ⁻¹	450,00	-	375,00	675,00	-	600,00	675,00	525,00	600,00	750,00
Óleo diesel	Litros ha ⁻¹	53,79	51,69	53,49	54,69	51,99	56,19	54,69	54,09	54,39	54,69
Mão-de-obra	Horas ha ⁻¹	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00

Anexo 9. Total de insumos consumido no sistema de lavoura contínua, sob SPD (S4T2) (Continua).

Operações	Unidade	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Calcário	Mg ha ⁻¹	5,80	-	-	-	-	-	-	-	1,70	-
N	kg ha ⁻¹	-	-	80,00	-	80,00	-	70,00	-	-	5,00
P ₂ O ₅	kg ha ⁻¹	98,00	100,00	100,00	100,00	100,00	90,00	102,00	83,00	100,00	50,00
K ₂ O	kg ha ⁻¹	98,00	100,00	60,00	100,00	100,00	90,00	61,00	83,00	100,00	45,00
Micronutrientes	kg ha ⁻¹	63,00	-	2,00	-	22,00	63,00	1,60	1,20	-	-
Gesso	Mg ha ⁻¹	2,80	-	-	-	-	2,80	-	-	-	-
Inoculante	Dose ha ⁻¹	1,26	1,26	-	1,26	-	1,26	-	1,26	1,26	-
Sementes (Soja)	kg ha ⁻¹	63,00	63,00	-	63,00	-	63,00	-	63,00	63,00	-
Semente (Milho)	kg ha ⁻¹	-	-	20	-	20	-	20,00	-	-	-
Semente (Milheto)	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15,00
Inseticidas	g IA ha ⁻¹	23,00	69,75	73,00	29,90	119,75	69,75	73,00	23,00	69,75	8,00
Fungicidas	g IA ha ⁻¹	258,00	293,00	1477,50	308,00	1327,50	243,00	1477,50	308,00	243,00	-
Herbicidas	g IA ha ⁻¹	1562,35	1082,35	2280,00	1082,35	2280,00	1082,35	2280,00	1082,35	1082,35	960,00
Óleo mineral parafínico	mL ha ⁻¹	525,00	450,00	450,00	525,00	450,00	450,00	375,00	525,00	450,00	75,00
Óleo diesel	Litros ha ⁻¹	79,19	14,29	14,29	14,59	14,29	14,29	13,99	14,59	16,09	12,79
Mão-de-obra	Horas ha ⁻¹	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00

Anexo 9. Continuação.

Operações	Unidade	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Calcário	Mg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	1,10	-	-	-	-
N	kg ha ⁻¹	-	-	-	10,00	63,00	-	-	120,00	-	-
P ₂ O ₅	kg ha ⁻¹	100,00	-	100,00	100,00	71,00	103,00	49,00	75,00	20,00	20,00
K ₂ O	kg ha ⁻¹	100,00	-	100,00	90,00	71,00	103,00	49,00	56,25	20,00	20,00
Inoculante	Dose ha ⁻¹	1,26	-	1,26	1,26	-	1,26	1,26	-	1,26	1,26
Sementes (Soja)	kg ha ⁻¹	63,00	-	63,00	63,00	-	63,00	63,00	-	63,00	63,00
Semente (Milho)	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	20,00	-	-
Semente (Sorgo)	kg ha ⁻¹	-	-	-	-	4,30	-	-	-	-	-
Semente (Milheto)	kg ha ⁻¹	-	15,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Inseticidas	g IA ha ⁻¹	29,90	8,00	69,75	23,00	8,00	69,75	29,90	73,00	69,75	23,00
Fungicidas	g IA ha ⁻¹	308,00		243,00	161,24	0,00	495,00	582,50	1635,50	495,00	582,50
Herbicidas	g IA ha ⁻¹	1082,35	960,00	1082,35	1082,35	960,00	1082,35	960,00	960,00	960,00	960,00
Óleo mineral parafínico	mL ha ⁻¹	525,00	75,00	450,00	750,00	75,00	675,00	750,00	600,00	675,00	825,00
Óleo diesel	Litros ha ⁻¹	14,59	12,49	14,29	15,49	12,79	16,99	15,49	14,89	15,19	15,49
Mão-de-obra	Horas ha ⁻¹	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00	122,00

Anexo 10. Consumo energético anual nos sistemas de pastagens contínuas em monocultivo de gramínea (S1) e consorciado com leguminosa (S2) (continua).

Ano	1991		1992		1993		1994		1995		1996		1997		1998		1999	
Produtividade (Mg ha ⁻¹)	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
Ganho de peso	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Ingressos (GJ ha ⁻¹)																		
Fertilizantes	1,9	1,9	-	-	-	-	0,2	0,2	3,2	1,1	-	-	0,2	0,2	-	-	2,6	0,4
Sementes	0,0	0,1	-	-	-	-	-	-	0,7	0,7	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0
Inseticidas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-
Fungicidas	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Herbicidas	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Sanidade animal	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sal mineral	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Combustível	4,1	4,1	-	-	-	-	0,0	0,0	1,2	1,2	-	-	0,0	0,0	-	0,2	2,1	2,1
Óleo mineral parafínico	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	0,1	-	-	-	-	-	-	2,0	2,0
Mão-de-obra	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Total ingressos	7,0	7,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	6,8	4,8	1,0	1,0	1,2	1,2	1,0	1,1	5,5	3,4
Energia do componente animal	317,1	313,4	317,1	313,4	317,1	313,4	317,1	313,4	385,8	382,1	317,1	313,4	317,1	313,4	317,1	313,4	317,1	313,4
Eficiência energética	45,0	44,2	325,8	322,0	325,8	322,0	271,1	267,9	57,0	80,1	325,8	322,0	271,1	267,9	325,8	274,6	57,5	93,2

Anexo 10. Continuação.

Ano	2000		2001		2002		2003		2004		2005	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
Produtividade (Mg ha ⁻¹)												
Ganho de peso	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Ingressos (GJ ha ⁻¹)												
Fertilizantes	-	-	2,5	0,3	0,4	0,4	-	-	-	-	-	-
Inseticidas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sanidade animal	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sal mineral	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Combustível	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-
Mão-de-obra	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Total ingressos	1,0	1,0	3,5	1,3	1,4	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Energia do componente animal	317,1	313,4	317,1	313,4	317,1	313,4	317,1	313,4	317,1	313,4	317,1	313,4
Eficiência energética	325,8	322,0	91,1	237,5	220,6	218,0	325,8	322,0	325,8	322,0	325,8	322,0

Anexo 10. Continuação.

Ano	2006		2007		2008		2009		2010	
Produtividade (Mg ha ⁻¹)	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
Ganho de peso	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2
Ingressos (GJ ha ⁻¹)										
Fertilizantes	0,0	-	-	0,0	-	-	-	-	-	-
Sementes	-	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-
Inseticidas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sanidade animal	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sal mineral	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Combustível	0,2	-	-	2,2	-	-	-	-	-	-
Mão-de-obra	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Total ingressos	1,1	1,8	1,0	3,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Energia do componente animal	394,1	464,0	317,1	313,4	309,1	313,4	248,0	162,8	317,1	313,4
Eficiência energética	345,0	256,9	325,8	100,1	317,6	322,0	254,8	167,3	325,8	322,0

Anexo 11. Consumo energético anual no sistema de integração lavoura-pecuária, rotação iniciada com pastagem, sob o sistema de plantio direto (PD) e com preparo convencional do solo (PC) (continua).

Período ocupado com pastagem.

Ano	Capim Andropogon							
	1991		1992		1993		1994	
Produtividade (Mg ha ⁻¹)	S3PT1	S3PT2	S3PT1	S3PT2	S3PT1	S3PT2	S3PT1	S3PT2
Ganho de peso	0,40	0,31	0,40	0,31	0,40	0,31	0,40	0,31
Ingressos (GJ ha ⁻¹)								
Fertilizantes	1,91	1,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Semente	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inseticidas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sanidade animal	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Sal mineral	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Combustível	3,86	3,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mão-de-obra	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
Total ingressos	6,77	6,77	0,99	0,98	0,99	0,98	0,99	0,98
Energia do componente animal	763,24	585,17	763,24	585,17	763,24	585,17	763,24	585,17
Eficiência energética	112,7	86,5	774,7	596,9	774,7	596,3	774,7	595,7

Anexo 11. Continuação.

Forrageira	Capim Tanzânia										Capim Piatã						
	Ano		1999		2000		2001		2002		2003		2008		2009		2010
Produtividade (kg ha ⁻¹)	S3PT1	S3PT2	S3PT1	S3PT2	S3PT1	S3PT2	S3PT1	S3PT2	S3PT1	S3PT2	S3PT1	S3PT2	S3PT1	S3PT2	S3PT1	S3PT2	
Ganho de peso	0,40	0,31	0,40	0,31	0,40	0,31	0,40	0,31	0,40	0,31	0,38	0,29	0,25	0,19	0,40	0,31	
Ingressos (GJ ha ⁻¹)																	
Fertilizantes	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	2,43	2,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Semente	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Inseticidas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Sanidade animal	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	
Sal mineral	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
Combustível	2,30	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Mão-de-obra	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	
Total ingressos	3,45	1,49	0,99	0,99	0,99	0,99	3,43	3,44	0,99	0,99	0,99	1,00	0,99	1,00	0,99	1,00	
Energia do componente animal	763,24	585,17	763,24	585,17	763,24	585,17	763,24	585,17	763,24	585,17	711,16	542,82	480,33	349,63	763,24	585,17	
Eficiência energética	221,1	393,3	774,7	592,1	774,7	591,5	222,3	170,2	774,7	590,3	721,8	544,8	487,5	350,6	774,7	586,2	

Anexo 11. Continuação.
Período ocupado com lavoura.

Ano	Soja							
	1996		1998		2004		2006	
Produtividade (Mg ha ⁻¹)	S3PT1	S3PT2	S3PT1	S3PT2	S3PT1	S3PT2	S3PT1	S3PT2
Grãos	3,19	3,23	3,19	3,23	2,30	2,12	4,08	4,35
Ingressos (GJ ha ⁻¹)								
Fertilizantes	0,82	0,82	0,82	0,82	1,39	1,39	0,94	0,94
Inoculante	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Semente	2,09	2,08	2,09	2,08	2,09	2,08	2,09	2,08
Inseticidas	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03
Fungicidas	0,07	0,07	0,09	0,09	0,16	0,16	0,19	0,19
Herbicidas	0,05	0,96	0,05	0,96	0,05	0,96	0,05	0,96
Óleo mineral parafínico	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03
Combustível	2,66	2,68	3,01	0,73	2,72	0,77	2,80	0,85
Mão-de-obra	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
Total ingressos	6,69	7,61	7,05	5,67	7,41	6,36	7,08	6,03
Energia dos grãos	51,44	52,15	51,44	52,15	37,12	34,15	65,77	70,15
Eficiência energética	7,7	6,9	7,3	9,2	5,0	5,4	9,3	11,6

Anexo 11. Continuação.

Culturas	Milho				Sorgo		Milheto	
	1995		1997		2005		2007	
Produtividade (Mg ha ⁻¹)	S3PT1	S3PT2	S3PT1	S3PT2	S3PT1	S3PT2	S3PT1	S3PT2
Grãos	4,26	4,10	4,26	4,10	1,54	2,64	0,50	0,50
Ingressos (GJ ha ⁻¹)								
Fertilizantes	6,42	6,42	4,55	4,55	4,05	4,05	0,00	0,00
Inoculante	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Semente	0,66	0,66	0,66	0,66	0,14	0,14	0,04	0,04
Inseticidas	0,05	0,05	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
Fungicidas	0,20	0,20	0,20	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
Herbicidas	0,52	1,43	0,52	1,43	0,00	0,00	0,00	0,00
Óleo mineral parafínico	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Combustível	1,23	1,25	2,66	0,71	2,59	0,64	2,59	0,62
Mão-de-obra	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
Total ingressos	10,04	10,97	9,60	8,55	7,74	5,79	3,59	1,62
Energia dos grãos	69,99	67,36	69,99	67,36	25,14	43,10	8,15	8,15
Eficiência energética	7,0	6,1	7,3	7,9	3,2	7,4	2,3	5,0

Anexo 12. Consumo energético anual no sistema de integração lavoura-pecuária, rotação iniciada com lavoura, sob o sistema de plantio direto (PD) e com preparo convencional do solo (PC) (continua).

Período ocupado com lavoura.

Cultura	Soja									
	1991		1992		1994		1999		2001	
Ano										
Produtividade (Mg ha ⁻¹)	S3LT1	S3LT2	S3LT1	S3LT2	S3LT1	S3LT2	S3LT1	S3LT2	S3LT1	S3LT2
Grãos	2,3	2,3	1,5	1,3	2,0	2,3	2,1	2,1	2,8	2,9
Ingressos (GJ ha ⁻¹)										
Fertilizantes	4,3	4,3	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Inoculante	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sementes	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Inseticida	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fungicida	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Herbicidas	0,1	1,0	0,1	1,0	0,1	1,0	0,1	1,0	0,1	1,0
Óleo mineral parafínico	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Combustível	4,4	4,4	4,2	4,2	4,2	4,2	2,8	0,8	2,7	0,7
Mão-de-obra	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Total ingressos	12,0	12,9	8,3	9,3	8,3	9,3	6,9	5,8	6,8	5,8
Energia dos grãos	36,5	36,5	24,2	20,2	32,3	37,1	33,9	33,9	44,4	46,8
Eficiência energética	3,0	2,8	2,9	2,2	3,9	4,0	4,9	5,8	6,6	8,1

Anexo 12. Continuação.

Cultura	Soja							
	2003		2007		2009		2010	
Ano								
Produtividade (Mg ha ⁻¹)	S3LT1	S3LT2	S3LT1	S3LT2	S3LT1	S3LT2	S3LT1	S3LT2
Grãos	1,1	0,6	3,5	3,0	1,6	2,6	2,1	2,1
Ingressos (GJ ha ⁻¹)								
Fertilizantes	0,9	0,9	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2
Inoculante	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sementes	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Inseticida	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fungicida	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Herbicidas	0,1	1,0	0,9	1,8	0,9	1,8	0,9	1,8
Óleo mineral parafínico	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Combustível	2,7	0,7	2,8	0,9	2,7	0,7	2,7	0,8
Mão-de-obra	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Total ingressos	6,8	5,8	7,3	6,3	6,9	5,9	7,0	5,9
Energia dos grãos	17,2	9,2	57,1	48,4	25,7	41,2	33,9	34,2
Eficiência energética	2,5	1,6	7,8	7,7	3,7	7,0	4,9	5,7

Anexo 12. Continuação.

Cultura	Milho				Milheto			
	1993		2008		2000		2002	
Ano	S3LT1	S3LT2	S3LT1	S3LT2	S3LT1	S3LT2	S3LT1	S3LT2
Produtividade (Mg ha ⁻¹)								
Grãos	7,0	7,2	10,3	8,4	1,0	1,0	0,5	0,5
Ingressos (GJ ha ⁻¹)								
Fertilizantes	5,1	5,1	7,1	7,1	0,7	0,7	0,0	0,0
Inoculante	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sementes	0,7	0,7	0,7	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Inseticida	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fungicida	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Herbicidas	0,5	1,4	0,5	1,4	0,0	0,9	0,0	0,9
Óleo mineral parafínico	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Combustível	4,2	4,2	2,7	0,7	2,6	0,6	2,6	0,6
Mão-de-obra	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Total ingressos	11,7	12,6	12,2	11,1	4,3	3,2	3,6	2,5
Energia dos grãos	115,0	118,3	169,2	138,4	16,3	16,3	8,2	8,2
Eficiência energética	9,8	9,4	13,9	12,5	3,8	5,1	2,3	3,2

Anexo 12. Continuação.

Período ocupado com pastagem.

Forrageira	Andropogon							
	1995		1996		1997		1998	
Ano	S3LT1	S3LT2	S3LT1	S3LT2	S3LT1	S3LT2	S3LT1	S3LT2
Produtividade (Mg ha ⁻¹)								
Ganho de peso	0,40	0,31	0,40	0,31	0,40	0,31	0,40	0,31
Ingressos (GJ ha ⁻¹)								
Fertilizantes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,18	0,00	0,00
Sementes	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Inseticida	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sanidade animal	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Sal mineral	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Combustível	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
Mão-de-obra	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
Total ingressos	1,00	1,00	0,99	0,98	1,18	1,18	0,99	0,98
Energia do componente animal	763,24	585,17	763,24	585,17	763,24	585,17	763,24	585,17
Eficiência energética	763,0	586,4	774,7	595,3	645,8	496,1	774,7	595,3

Anexo 12. Continuação.

Forrageira	Marandu					
	2004		2005		2006	
Ano	S3LT1	S3LT2	S3LT1	S3LT2	S3LT1	S3LT2
Produtividade (Mg ha ⁻¹)						
Ganho de peso	0,40	0,31	0,40	0,31	0,58	0,46
Ingressos (GJ ha ⁻¹)						
Fertilizantes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sementes	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Inseticida	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sanidade animal	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Sal mineral	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Combustível	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mão-de-obra	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
Total ingressos	0,99	0,98	0,99	0,98	0,99	0,98
Energia do componente animal	763,24	585,17	763,24	585,17	1098,22	863,05
Eficiência energética	774,7	595,3	774,7	595,3	1114,7	878,0

Anexo 13. Consumo energético anual no sistema contínuo de produção de grãos, sob o sistema de plantio direto (PD) e com preparo convencional do solo (PC) (continua).

Cultura	Soja													
	1991		1992		1994		1996		1998		1999		2001	
Ano	PC	PD	PC	PD	PC	PD	PC	PD	PC	PD	PC	PD	PC	PD
Produtividade (Mg.ha ⁻¹)	PC	PD	PC	PD	PC	PD	PC	PD	PC	PD	PC	PD	PC	PD
Grãos	2,3	2,3	1,5	1,3	2,0	2,3	2,0	2,0	1,6	1,8	2,5	3,0	2,9	3,0
Ingressos (GJ.ha ⁻¹)														
Fertilizantes	4,3	4,3	0,9	0,9	0,9	0,9	4,2	4,2	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9
Inoculante	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sementes	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Inseticidas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fungicidas	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Herbicidas	0,1	1,0	0,1	0,7	0,1	0,7	0,1	0,7	0,1	0,7	0,1	0,7	0,1	0,7
Óleo mineral parafínico	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Combustível	4,4	3,9	4,2	0,7	4,2	0,7	2,7	0,7	2,7	0,7	2,8	0,8	2,7	0,7
Mão-de-obra	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Total ingressos	12,0	12,5	8,3	5,4	8,3	5,5	10,1	8,7	6,7	5,4	6,9	5,5	6,8	5,5
Energia dos grãos	36,5	36,5	24,2	20,2	32,3	37,1	32,3	32,3	25,8	29,0	40,2	48,7	46,9	48,7
Eficiência energética	3,0	2,9	2,9	3,7	3,9	6,8	3,2	3,7	3,9	5,4	5,8	8,8	6,9	8,9

Anexo 13. Continuação.

Cultura	Soja											
	2003		2004		2006		2007		2009		2010	
Ano	PC	PD	PC	PD	PC	PD	PC	PD	PC	PD	PC	PD
Sistema de plantio	PC	PD	PC	PD	PC	PD	PC	PD	PC	PD	PC	PD
Grãos (Mg.ha ₋₁)	1,0	1,0	2,3	2,7	4,5	4,3	3,1	3,0	1,5	1,8	2,3	2,4
Ingressos (GJ.ha ⁻¹)												
Fertilizantes	0,9	0,9	1,4	1,4	0,9	0,9	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2
Inoculante	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sementes	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Inseticidas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fungicidas	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2
Herbicidas	0,1	0,7	0,1	0,7	0,1	0,7	0,6	1,2	0,6	1,2	0,6	1,2
Óleo mineral parafínico	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Combustível	2,7	0,7	2,7	0,8	2,8	0,8	2,7	0,8	2,7	0,8	2,7	0,8
Mão-de-obra	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Total ingressos	6,8	5,4	7,4	6,1	6,9	5,6	7,0	5,7	6,7	5,3	6,8	5,4
Energia dos grãos	16,3	16,5	37,8	43,3	72,0	69,7	49,7	49,1	24,6	28,5	36,5	38,3
Eficiência energética	2,4	3,0	5,1	7,1	10,4	12,4	7,1	8,7	3,7	5,4	5,4	7,1

Anexo 13. Continuação.

Cultura	Milho								Milheto				Sorgo	
	1993		1995		1997		2008		2000		2002		2005	
Ano	PC	PD	PC	PD	PC	PD	PC	PD	PC	PD	PC	PD	PC	PD
Sistema de plantio	PC	PD	PC	PD	PC	PD	PC	PD	PC	PD	PC	PD	PC	PD
Grãos (Mg.ha ⁻¹)	7,0	7,2	4,3	4,1	6,5	7,0	9,9	8,3	1,0	1,0	0,5	0,5	1,51	3,15
Ingressos (GJ.ha ⁻¹)														
Fertilizantes	5,1	5,1	6,4	6,4	0,7	4,6	7,1	7,1	0,7	0,7	0,0	0,0	4,05	4,05
Sementes	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,14	0,14
Inseticidas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-
Fungicidas	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	-	-	-	-	-	-
Herbicidas	0,5	1,1	0,5	1,1	0,5	1,1	0,5	1,1	0,0	0,6	0,0	0,6	0,00	0,61
Óleo mineral parafínico	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,003
Combustível	4,2	0,7	4,2	0,7	2,6	0,7	2,7	0,7	2,6	0,6	2,6	0,6	2,59	0,64
Mão-de-obra	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,96	0,96
Total ingressos	11,7	8,8	13,0	10,1	5,7	8,2	12,2	10,8	4,3	2,9	3,6	2,2	7,74	6,39
Energia dos grãos	115,0	118,3	70,0	67,4	106,8	115,0	162,4	136,0	16,3	16,3	8,2	8,2	24,62	51,39
Eficiência energética	9,8	13,4	5,4	6,7	18,7	14,0	13,3	12,6	3,8	5,6	2,3	3,7	3,18	8,04

Anexo 14. Eficiência energética detalhada dos biocombustíveis nos diferentes sistemas avaliados.

Sistemas	Culturas/Ano																
	Soja 1991	Soja 1992	Milho 1993	Soja 1994	Milho 1995	Soja 1996	Milho 1997	Soja 1998	Soja 1999	Soja 2001	Soja 2003	Soja 2004	Soja 2006	Soja 2007	Milho 2008	Soja 2009	Soja 2010
S₄T₁	GJ ha ⁻¹																
Entrada de energia	15,59	10,70	19,14	11,49	17,54	13,21	12,61	9,20	10,78	11,36	8,36	11,06	13,94	11,86	27,38	9,06	10,13
Energia do biocombustível	15,89	10,55	55,80	14,07	33,96	14,07	51,82	11,25	17,51	20,43	7,11	16,49	31,41	21,65	78,78	10,74	15,93
Eficiência energética	1,02	0,99	2,92	1,22	1,94	1,06	4,11	1,22	1,62	1,80	0,85	1,49	2,25	1,83	2,88	1,19	1,57
S₄T₂																	
Entrada de energia	16,03	7,41	16,46	9,07	14,45	11,89	15,68	8,19	10,27	10,20	7,04	10,28	12,40	9,85	24,34	7,49	8,35
Energia do biocombustível	15,89	8,79	57,40	16,17	32,68	14,07	55,80	12,66	21,25	21,22	7,19	18,86	30,38	21,41	65,98	12,44	16,70
Eficiência energética	0,99	1,19	3,49	1,78	2,26	1,18	3,56	1,55	2,07	2,08	1,02	1,84	2,45	2,17	2,71	1,66	2,00
S₃LT₁																	
Entrada de energia	15,59	10,70	19,14	11,49	-	-	-	-	10,17	11,11	8,48	-	-	12,90	27,83	9,27	10,10
Energia do biocombustível	15,89	10,55	55,80	14,07	-	-	-	-	14,77	19,37	7,52	-	-	24,90	82,11	11,20	14,78
Eficiência energética	1,02	0,99	2,92	1,22	-	-	-	-	1,45	1,74	0,89	-	-	1,93	2,95	1,21	1,46
S₃LT₂																	
Entrada de energia	16,44	11,24	20,28	12,89	-	-	-	-	9,13	10,31	6,67	-	-	10,11	24,80	9,74	9,09
Energia do biocombustível	15,89	8,79	57,40	16,17	-	-	-	-	14,77	20,39	4,00	-	-	21,12	67,16	17,98	14,89
Eficiência energética	0,97	0,78	2,83	1,25	-	-	-	-	1,62	1,98	0,60	-	-	2,09	2,71	1,85	1,64
S₃PT₁																	
Entrada de energia	-	-	-	-	14,57	11,70	14,12	12,05	-	-	-	11,02	13,48	-	-	-	-
Energia do biocombustível	-	-	-	-	33,96	22,43	33,96	22,43	-	-	-	16,18	28,67	-	-	-	-
Eficiência energética	-	-	-	-	2,33	1,92	2,40	1,86	-	-	-	1,47	2,13	-	-	-	-
S₃PT₂																	
Entrada de energia	-	-	-	-	15,33	12,69	12,91	10,75	-	-	-	9,69	12,87	-	-	-	-
Energia do biocombustível	-	-	-	-	32,68	22,74	32,68	22,74	-	-	-	14,89	30,58	-	-	-	-
Eficiência energética	-	-	-	-	2,13	1,79	2,53	2,12	-	-	-	1,54	2,38	-	-	-	-

*Os anos 2000, 2002 e 2005 não constam na tabela pela não exploração comercial de biocombustível proveniente de grãos de sorgo e milheto.

O dispêndio energético para a industrialização do biocombustível já consta incluído nas entradas energéticas dos sistemas.