

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Programa de Pós-Graduação em Ecologia

**MODELAGEM DOS ESTOQUES DE CARBONO DO SOLO SOB  
DIFERENTES COBERTURAS NA REGIÃO DO CERRADO**

**Rafael Rodrigues Alves Dias**

**Orientadora: Profa. Dra. Mercedes M. C. Bustamante**

**Dissertação de Mestrado  
apresentada ao curso de Pós-Graduação  
em Ecologia do Instituto de Ciências  
Biológicas da Universidade de Brasília.**

**Brasília, abril de 2010.**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Dedico o amadurecimento proporcionado por esse trabalho a Mãe Natureza  
e a todos os seres que se esforçam para cultivar a Sua força  
dentro e ao redor de si.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer ao projeto AVISAR – Embrapa pelo auxílio técnico e pela disponibilização de equipamentos e dados importantes para a realização do nosso trabalho. Somos profundamente agradecidos pela colaboração dos pesquisadores Robélio Leandro Marchão, Luís Gustavo Barioni e Lourival Vilela, que nos ajudaram de forma cordial em vários momentos dessa caminhada.

Igualmente valiosa e simpática foi a ajuda do Prof. Eduardo de Sá Mendonça, que nos iniciou na utilização do modelo Century e trouxe luz ao nosso entendimento sobre os processos envolvidos na dinâmica de carbono do solo.

Gostaria de agradecer a participação (praticamente co-autoria) do pesquisador Alexandre “Xan” Siqueira Pinto, que além de ter dedicado sua participação física produtiva durante todas as etapas da elaboração desse trabalho, também contribuiu com questionamentos e reflexões intelectuais preciosas acerca da interpretação dos resultados, bem como sobre a forma mais adequada de apresentá-las no documento escrito.

Quero ainda deixar registrado um agradecimento especial a Prof. Mercedes, não somente por ter me orientado de forma admirável na realização desse trabalho, mas também por ter (sem querer) me ensinado muito sobre o processo de produção científica, sobre o compromisso e a responsabilidade do pesquisador com a precisão e aplicabilidade dos resultados de seu trabalho.

Por fim, fica o agradecimento ao CNPq pela bolsa concedida durante os dois últimos anos que ajudou bastante no incremento da minha aptidão adaptativa ao meu habitat urbano-capitalista. Com esse recurso foi possível um aumento bastante significativo do meu sucesso reprodutivo, garantindo, nesse meio tempo, às futuras gerações uma amostra linda, doce e pequeninha do meu repertório genético associado ao de uma mulher incrível. Obrigado Vanessa e Aila pela harmonia que vocês duas trazem ao meu meio ambiente.

## Resumo

Depois das reservas fósseis, o solo é o maior reservatório de carbono orgânico do planeta e, dependendo do tipo de uso designado pelas atividades humanas, pode funcionar tanto como fonte quanto como dreno de carbono. A atividade pecuária é responsável por grande parte das mudanças na cobertura do solo no Brasil, sendo o país o segundo maior produtor de bovinos do mundo. A região Centro-Oeste concentra 34,2% do rebanho brasileiro. Nos últimos 35 anos cerca de metade dos aproximadamente dois milhões de km<sup>2</sup> originalmente ocupados por vegetação nativa do Cerrado foram convertidos principalmente em pastagens plantadas e em menor extensão em culturas anuais. Além dos prejuízos imediatos à biodiversidade, a forma de manejo dos sistemas bovinoculturais pode causar, em longo prazo, impactos graves sobre o meio físico (solo, água e ar), afetando a manutenção de diversos serviços ambientais essenciais, como a ciclagem da água e nutrientes, a fertilidade do solo e a qualidade do ar. Para o desenvolvimento de práticas sustentáveis na bovinocultura é importante um melhor entendimento sobre os fatores e mecanismos que regulam o funcionamento destes sistemas de produção. No presente trabalho, determinou-se os estoques de carbono no solo (0-20 cm de profundidade) sob pastagens cultivadas a partir de simulações de cenários de longo-prazo submetidos com quatro sistemas de manejo: (1) pastagem contínua de baixa produtividade (PCBP), (2) pastagem contínua de alta produtividade (PCAP), (3) integração lavoura-pecuária com plantio convencional (ILPC), e (4) integração lavoura-pecuária com plantio direto (ILPD). Avaliou-se ainda as mudanças nos estoques de C em um quinto cenário de recuperação de uma pastagem de baixa produtividade convertida para sistema de integração lavoura-pecuária com plantio direto. Os resultados das simulações indicaram que todos os cenários avaliados resultaram em redução do estoque de C do solo, em relação aos estoques observados sob vegetação nativa (39,5 Mg C ha<sup>-1</sup>). As maiores reduções ocorreram nos cenários de PCBP e ILPC, que resultaram em estoques de 34,7 e 34,8 Mg C ha<sup>-1</sup>, respectivamente, ao final de 45 anos. Os cenários de PCAP e ILPD apresentaram estoques finais de 38,9 e 38,6 Mg C ha<sup>-1</sup>, respectivamente. As simulações indicaram ainda que, apesar dos compartimentos ativo e lento serem mais responsivos aos eventos de manejo em curto prazo, o compartimento passivo é o mais afetado pelas mudanças nos estoques de C do solo em longo prazo. O cenário de recuperação de pastagem de baixa produtividade com implantação de sistema de integração-lavoura pecuária indicou que é possível obter um seqüestro de aproximadamente 2,5 Mg C ha<sup>-1</sup> cerca de 20 anos após a implantação desses sistemas. Esse resultado indica que as estratégias de ocupação da região do Cerrado para produção bovinocultural devem ser concentradas na recuperação de áreas de baixa produtividade e não na abertura e desmatamento de novas áreas, pois a abertura de novas áreas, além de gerar grandes emissões de gases de efeito estufa, também implica em conseqüências negativas para a manutenção dos recursos genéticos e dos serviços ambientais.

## Abstract

After fossil fuel reserves, soils are the largest reservoir of organic carbon on the planet and, depending on use by human activities, they can act both as sources or sinks of carbon. Cattle raising is responsible for most of the changes in soil cover in Brazil and the country is the second largest producer of meat in the world. The Middle-West region (mainly Cerrado) concentrates 34.2% of the Brazilian herd. Over the past 35 years, about half of the approximately 2 million km<sup>2</sup> originally occupied by native vegetation in the Cerrado have been converted mainly into cultivated pastures and to a lesser extent into annual crops. Besides the immediate damage to biodiversity, the usual management practices adopted for cattle raising can cause, in long term, severe impacts on the physical environment (soil, water and air) affecting the maintenance of several key environmental services such as water and nutrient cycling, soil fertility and air quality. The development of sustainable practices demands a better understanding of the factors and mechanisms that regulate the functioning of these production systems. In this study we determined the soil carbon stocks (0-20 cm depth) using simulations of long-term scenarios submitted to four management systems: (1) continuous pasture of low productivity (PCBP) (2) continuous pasture of high productivity (PCAP), (3) croplivestock integration with conventional tillage (ILPC), and (4) crop-livestock integration with no-tillage (ILPD). We also evaluated the changes in carbon stocks in a fifth scenario that encompass the recovery of a pasture with low productivity using croplivestock system with no-tillage. The simulations indicated that all the scenarios resulted in decreases of soil C stocks in relation to the stocks observed under native conditions (39.5 Mg C ha<sup>-1</sup>). The largest reductions occurred in scenarios with PCBP and ILPC, that presented stocks of 34.7 and 34.8 Mg C ha<sup>-1</sup>, respectively, at the end of the study period of 45 years. The scenarios with PCAP and ILPD presented final stocks of 38.9 and 38.6 Mg C ha<sup>-1</sup>, respectively. The simulations also indicated that the active and slow fractions of soil C were more responsive to short term variations after management events. On the other hand, the passive fraction was the one affected by long term changes in soil C stocks. The recovery scenario of a low productivity pasture with implementation of crop-livestock system indicated that it is possible to obtain a sequestration of 2.5 Mg C ha<sup>-1</sup> approximately 20 years after the implementation of the new system. The results indicate that the strategies of occupation of the *Cerrado* region for cattle production should be concentrated on the recovery of low productivity pastures avoiding the clearing of native areas. Opening of new areas, besides the effects on greenhouse gas emissions, would also result in negative consequences for the maintenance of genetic resources and environmental services.

## Índice

Dedico o amadurecimento proporcionado por esse trabalho a Mãe Natureza .....	2
e a todos os seres que se esforçam para cultivar a Sua força .....	2
dentro e ao redor de si.....	2
Índice.....	6
1. Introdução.....	7
2. Revisão bibliográfica.....	8
3. Objetivos.....	18
4. Hipóteses .....	19
5. Material e Métodos.....	19
6. Descrição dos cenários simulados .....	25
7. Descrição da parametrização do modelo.....	26
8. Resultados.....	30
9. Discussão.....	47
10. Conclusões.....	61
11. Recomendações.....	61
12. Referências bibliográficas.....	62
ANEXO A:.....	77
Anexo B:.....	99
Anexo C.....	118

## 1. Introdução

Recentemente os estudos sobre estoques e fluxos de carbono têm recebido atenção especial devido às amplas constatações e divulgações sobre a influência das atividades antrópicas na elevação das concentrações atmosféricas dos principais gases do efeito estufa (IPCC, 2007). Com exceção das reservas fósseis, o solo é o maior reservatório de carbono orgânico do planeta e, dependendo do tipo de uso designado pelas atividades humanas, pode funcionar tanto como fonte quanto como dreno de carbono (Houghton, 2005). O padrão global de mudanças no uso da terra nos últimos 150 anos tem sido predominantemente caracterizado pela remoção de vegetações nativas para o estabelecimento de culturas agropecuárias. Neste tipo de mudança, há uma tendência geral para a redução do estoque de carbono terrestre. Estima-se que no período de 1850 a 2000, estes padrões de mudanças no uso da terra geraram um fluxo líquido de 156 Pg C dos estoques terrestres de C para a atmosfera (Houghton, 2003).

No Brasil, a atividade pecuária é responsável por grande parte dessas mudanças. Brasil é o maior exportador de carne bovina do mundo (de acordo com o Departamento de Agricultura dos EUA – USDA/2007)<sup>1</sup>. Embora dispersos por todo o território nacional, os bovinos concentram-se na Região Centro-Oeste, responsável, sozinha, por 34,2% do total brasileiro, com predominância dos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás (IBGE, 2006). A relevância da região do Cerrado dentro do cenário da bovinocultura nacional deve-se em parte à existência de extensas áreas de relevo plano que conferem alto potencial para tais atividades. Além disso, a partir da década de 70, a disponibilidade de novas tecnologias para o cultivo de solos ácidos, acompanhadas de programas governamentais de estímulo à ocupação do cerrado, fizeram dessa região o principal alvo da intensa expansão agropecuária que se deu no país a partir da década de 70.

O padrão de ocupação adotado e a remoção da vegetação nativa em grande escala para a implantação das pastagens cultivadas representa, em si, um enorme prejuízo à biodiversidade dos ecossistemas de Cerrado. O Cerrado apresenta a mais rica flora dentre as savanas do mundo, abrigando aproximadamente 12.000 espécies de plantas nativas (Mendonça *et al*, 2008), das quais 4.400 são endêmicas (Myers *et al*, 2000). Nos últimos 35 anos cerca de metade dos seus 2 milhões de km<sup>2</sup> originais foram

---

1 [www.fas.usda.gov/dlp/circular/2005/05-04LP/beefoverview.html](http://www.fas.usda.gov/dlp/circular/2005/05-04LP/beefoverview.html)

convertidos, principalmente em pastagens plantadas e em menor grau em culturas anuais (Klink & Machado, 2005). Em função desse quadro, o Cerrado é considerado um dos 25 “hotspots” para conservação do mundo. “Hotspots” são definidos como áreas de grande biodiversidade com acelerada perda de habitats (Myers et al., 2000). Além dos prejuízos imediatos à biodiversidade, a forma de manejo dedicada aos sistemas bovinícolas pode causar, em longo prazo, impactos drásticos sobre o meio físico (solo, água e ar), afetando a manutenção de diversos serviços ambientais essenciais, como a ciclagem da água e nutrientes, a fertilidade do solo e a qualidade do ar.

Para o desenvolvimento de práticas sustentáveis na bovinocultura é importante um melhor entendimento acerca dos fatores e mecanismos que regulam o funcionamento destes sistemas de produção. O presente trabalho se insere neste amplo desafio, buscando compreender especificamente os fatores que determinam os estoques de carbono no solo sob pastagens cultivadas, para então, identificar formas de manejo que possam contribuir para a mitigação do efeito estufa. Portanto, esperamos que os resultados obtidos ofereçam suporte para o estabelecimento de práticas bovinícolas mais vantajosas sobre o ponto de vista ambiental, econômico e social.

## **2. Revisão bibliográfica**

### **2.1. Ciclagem Ecosistêmica de Carbono**

A produção primária bruta (PPB) de um ecossistema terrestre corresponde à fixação total de carbono inorgânico ( $\text{CO}_2$ ) em carbono orgânico através da fotossíntese. A fixação do gás carbônico atmosférico é efetuada pelos organismos fotossintetizantes, plantas, algas e bactérias autotróficas. Parte deste carbono retorna à atmosfera como  $\text{CO}_2$  oriundo da respiração dos organismos fotossintetizantes. O carbono restante, incorporado à biomassa das plantas, determina a produção primária líquida (PPL). Em ecossistemas terrestres, a maior parte do carbono fixado pela produção primária líquida acaba sendo incorporado ao solo através da decomposição da serapilheira. A serapilheira depositada na superfície do solo é composta principalmente por folhas secas, cascas, galhos, troncos, flores, frutos, e outros materiais vegetais não identificáveis (Bray & Gorham, 1964). Esse material vegetal que compõe a serapilheira representa largamente a principal via de entrada de carbono para o solo. A fixação de

CO<sub>2</sub> por microorganismos autótrofos e alguns detritos de origem animal contribuem com a pequena fração restante do carbono incorporado ao solo (Killham, 1994).

Quando os resíduos vegetais chegam ao solo, há uma atividade inicial de decomposição rápida (dois terços do material vegetal é geralmente decomposto em 1 ano), seguida por uma etapa bem mais lenta. Essas diferentes etapas da decomposição se devem aos seguintes fatores: (1) alguns componentes do material vegetal são decompostos com mais facilidade que outros; e (2) o processo de decomposição inicial gera algumas moléculas recalcitrantes (substâncias húmicas), que previnem o ataque posterior por microorganismos.

Em solos razoavelmente aerados, um dos produtos finais do processo de decomposição é o CO<sub>2</sub>. Portanto, o estoque total de carbono de um solo sob vegetação natural representa um balanço dinâmico entre a adição de material vegetal morto pela serapilheira e a perda de CO<sub>2</sub> pela respiração dos organismos decompositores. No estado de equilíbrio anterior ao aumento global das concentrações de CO<sub>2</sub> nos últimos 100 anos, a produção de CO<sub>2</sub> no solo pela atividade decompositora era compensada com folga pela fixação de CO<sub>2</sub> por organismos autotróficos. No entanto, estimativas realizadas por Schlesinger (1984) verificaram que a taxa global de liberação de CO<sub>2</sub> pelos solos na década de 80, já era duas vezes maior que a taxa de entrada de carbono no solo. Este desequilíbrio é consequência das práticas generalizadas de desmatamento de vegetações naturais, que resultam na redução da produtividade primária global e na aceleração da taxa de decomposição dos estoques de carbono no solo (Killham, 1994).

## **2.2. Fatores ambientais que influenciam os estoques de C orgânico do solo**

### *2.2.1. Qualidade do material vegetal*

A velocidade de decomposição do material vegetal que chega ao solo é fortemente determinada pela qualidade desse material. A composição química dos resíduos vegetais pode variar entre as espécies vegetais e, dentro de uma mesma espécie, entre as diversas partes que compõe a planta (folhas, frutos, galhos, etc.). Em geral, as diferentes espécies e as diversas partes da planta apresentam os mesmos componentes básicos, mas em proporções diferentes. Em termos percentuais de peso de matéria seca, os componentes dos vegetais são comumente divididos em seis grandes

grupos (Waksman, 1952): 1. Celulose (15 a 60%), 2. Hemicelulose (10 a 30%), 3. Lignina (5 a 30%), 4. Fração solúvel em água – açúcares simples, aminoácidos, ácidos alifáticos (5 a 30%), 5. Fração solúvel em éter ou em álcool – gordura, óleos, ceras (1 a 15%), 6. Proteínas (1 a 10%).

Esses diferentes componentes do material vegetal apresentam diferentes cinéticas de decomposição principalmente em função de suas diferentes razões C/N. Geralmente, os microorganismos do solo apresentam razão C/N mais baixa que o material vegetal da serapilheira e, portanto, a baixa disponibilidade de N na serapilheira limita a utilização do C pelos microorganismos do solo (Enríquez et al, 1993).

A decomposição da serapilheira em ecossistemas de Cerrado é relativamente lenta. Resende (2001) relatou uma meia vida de 951 dias para serapilheira foliar mista em uma área de cerrado *sensu stricto*. Aduan (2003) encontrou resultados semelhantes, com a meia vida de 990 dias em cerrado *sensu stricto*. É possível ter uma noção mais clara da lentidão da decomposição de resíduos vegetais de espécies nativas do Cerrado quando comparada com a taxa de decomposição observada em pastagens cultivadas. No experimento conduzido por Urquiaga et al. (1998), foram encontrados valores de meia vida da serapilheira proveniente de *Brachiaria decumbens* de apenas 91 dias. As taxas mais lentas de decomposição no cerrado nativo se devem basicamente à baixa qualidade nutricional do material vegetal. Isso quer dizer que os resíduos derivados da vegetação nativa, por apresentarem maior razão C/N, são menos suscetíveis ao ataque pelos organismos decompositores, se acumulando por mais tempo no solo.

### 2.2.2. Clima

Os estoques de carbono no solo são determinados não só pelo tipo de vegetação e pela qualidade do material vegetal que é depositado na serapilheira, mas também por alguns fatores ambientais físicos. A temperatura e a umidade influenciam diretamente as taxas metabólicas dos microorganismos decompositores do solo. Em relação à umidade, verifica-se redução na atividade decompositora tanto em condições de dessecação quanto de encharcamento. De acordo com Waksman (1952), as melhores condições para decomposição da matéria orgânica ocorrem quando o teor de umidade se encontra na faixa entre 40 e 60 %. Em relação à temperatura, verifica-se que a faixa de temperatura mais favorável à decomposição da matéria orgânica está entre 28 e 50°C.

Estes limites ótimos de decomposição dificultam, em solos tropicais, a manutenção de níveis elevados de matéria orgânica (Sanchez, 1981). Já em regiões temperadas submetidas a baixas temperaturas, a taxa de decomposição é mais lenta e resulta num acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo.

### 2.2.3. *Acidez do solo*

O pH do solo também influencia na velocidade de decomposição da matéria orgânica. A maioria dos microrganismos do solo tem seu pH ótimo de atuação, em torno de valores neutros. As bactérias são predominantemente neutrófilas. Mesmo os fungos que comumente são citados como acidófilos também apresentam pH ótimo de crescimento em torno da neutralidade, apenas são mais tolerantes à acidez do solo, fazendo com que predominem em solos ácidos. O pH do solo influencia no crescimento da microbiota não só devido as concentrações  $H^+$  ou  $OH^-$ , mas, em casos de solos ácidos tropicais, pode provocar a liberação de íons tóxicos como  $Al^{3+}$  e  $Mn^{2+}$ , ou no caso de alcalinidade, a imobilização de nutrientes. A correção do pH do solo pela técnica da calagem favorece a atividade microbiana e acelera a decomposição da matéria orgânica (Lopes, 1977).

### 2.3.4. *Textura do solo*

Estudos têm demonstrado que os minerais do solo, considerando as diferentes superfícies específicas e tipos de grupamentos reativos, oferecem possibilidades distintas de interação com a matéria orgânica (Wattel-Koekkoek et al., 2001; Wattel-Koekkoek & Buurman, 2004). Solos com maior teor de partículas finas (argila e silte) apresentam maior superfície de contato disponível para formação de complexos entre as partículas minerais e os compostos orgânicos. Esses complexos estabilizam e protegem a matéria orgânica da atividade decompositora. Portanto, sob condições ambientais semelhantes, solos com textura mais argilosa geralmente apresentam maior teor de C. Essa relação positiva entre os teores de argila e o teor de C orgânico do solo foi demonstrada para vários Latossolos da região Noroeste de Minas Gerais (Zinn et al., 2005b).

### 2.3. Compartimentos e Frações de carbono orgânico no solo

Os termos compartimentos e frações são utilizados para classificar diferentes qualidades de compostos orgânicos no solo. O termo compartimento é utilizado para agrupar teoricamente esses compostos em grupos com características cinéticas semelhantes. As frações são grupos de compostos que, de acordo com seu peso molecular e/ou similaridades estruturais, podem ser experimentalmente separados e identificados por meio de procedimentos laboratoriais. Como há uma razoável associação entre frações experimentalmente identificadas e os compartimentos teoricamente definidos, popularizou-se o uso intercambiável desses termos.

Os diferentes compartimentos estão estreitamente relacionados com certos processos fundamentais ao funcionamento dos ecossistemas terrestres. Nesse trabalho utilizaremos as definições de Duxbury et al. (1989):

- Compartimento ativo ou lábil (5% da MOS): constituído por componentes facilmente oxidáveis, estando fortemente sujeito a alterações resultantes das influências do manejo sobre a biomassa microbiana.
- Compartimento lentamente oxidável (15% da MOS): ligado a formação de micro e macroagregados. O manejo influencia bastante a ocorrência dos macroagregados, mas muito pouco a ocorrência de microagregados.
- Compartimento passivo ou recalcitrante (80% da MOS): substâncias húmicas estáveis não afetadas pelas técnicas de manejo.

Esses diferentes compartimentos frações de matéria orgânica do solo apresentam diferentes taxas de renovação e velocidades de decomposição. O compartimento ativo, composto pelos microorganismos do solo e pela fração metabólica de baixo peso molecular, é renovado rapidamente em alguns meses. O compartimento lento, composto pelas frações estruturais da serapilheira e produtos microbianos estabilizados pelo solo, geralmente se renova numa escala temporal de algumas décadas. E o compartimento passivo, que é composto pelas frações húmicas recalcitrantes de difícil decomposição, pode permanecer estável no solo por milhares de anos.

A fração de carbono armazenado na biomassa viva (compartimento ativo) compreende os microorganismos, os invertebrados do solo e as raízes, que juntos representam de 1 a 5% do carbono orgânico total no solo. Apesar disso, sua presença é fundamentalmente importante para a dinâmica de C no solo, pois os microorganismos e invertebrados que compõem esta fração são os responsáveis por todas as transformações bioquímicas a que são submetidas as demais frações de carbono orgânico no solo (Killham, 1994). O compartimento lento está associado à estruturação do solo através da formação de agregados. O compartimento passivo é responsável por grande parte da fertilidade do solo, pois as moléculas orgânicas que compõem a fração húmica apresentam inúmeros grupos carboxílicos, hidroxílicos e enólicos, que conferem a essas moléculas uma enorme capacidade de troca catiônica. A contribuição das substâncias húmicas para a fertilidade do solo é particularmente importante nos solos do Cerrado, nos quais predominam minerais que apresentam poucas cargas negativas e, portanto, poucos sítios de ligação para íons trocáveis (baixa CTC).

#### **2.4. Biomassa vegetal em ecossistemas de Cerrado**

Castro & Kauffman (1998) determinaram a biomassa aérea e subterrânea em quatro fitofisionomias de cerrado: campo limpo, campo sujo, cerrado aberto e cerrado denso. Entre os dois extremos (campo limpo – cerrado denso), os autores encontraram valores entre 5,5 Mg C ha<sup>-1</sup> e 29,4 Mg C ha<sup>-1</sup> para biomassa aérea e entre 16,3 Mg C ha<sup>-1</sup> e 52,9 Mg C ha<sup>-1</sup> para biomassa subterrânea. A razão raiz/parte aérea variou entre 2,6 (em cerrado *sensu stricto*) e 7,7 (em campo limpo). Apesar destas variações, os resultados indicaram maior estoque de carbono na biomassa subterrânea em todas as quatro fitofisionomias. De maneira semelhante, Lilienfein *et al.* (2001), encontraram valores maiores de biomassa subterrânea (30,36 Mg C ha<sup>-1</sup>) em relação à biomassa aérea (22,7 Mg C ha<sup>-1</sup>), em uma área de cerrado sentido restrito de Uberlândia, MG, com uma razão raiz/parte aérea de 1,3. Avaliando os estoques de biomassa de um cerrado sentido restrito do Distrito Federal, através de relações alométricas, Rezende (2002) estimou o estoque total de carbono na biomassa aérea em 11,6 Mg ha<sup>-1</sup> e subterrânea em 18,6 Mg ha<sup>-1</sup> e uma razão raiz/parte aérea de 1,6. Os resultados destes estudos indicam haver um maior estoque de carbono em fitofisionomias arbóreas de cerrado, bem como um maior estoque de carbono na biomassa subterrânea.

## 2.5. Histórico do uso da terra na região do Cerrado

Desde a década de 70 esta região tem sido alvo de intensa expansão agropecuária. Entre 1975 e 1996, a área desmatada para instalação de fazendas quase dobrou, de 34,7 para 64,5 Mha. O principal fator responsável por tais mudanças foi a expansão de pastagens cultivadas (principalmente *Brachiaria spp.*), que cresceu de 16,0 para 49,2 Mha entre 1975 e 1996. No entanto, aproximadamente metade dos pastos cultivados encontram-se em estágios de degradação avançados, devido a falta de manejo adequado (Oliveira et al., 2004). Nesse mesmo período, a área ocupada por culturas agrícolas aumentou de 6,9 para 8,2 Mha. As culturas predominantes na região do Cerrado são soja (*Glycine max*), milho (*Zea mays*), arroz (*Oryza sativa*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*). As práticas agrícolas nessa região são caracterizadas pela presença de propriedades rurais monocultoras de grande extensão, com mecanização pesada e altas taxas de importação de insumos (Cadavid-Garcia, 1995; Klink et al. 1995). Apesar das culturas anuais não representarem o principal uso do solo no Cerrado, as taxas de desmatamento para a expansão do cultivo de soja continuam altas, principalmente na parte norte da região. A expansão da soja no Cerrado foi fortemente influenciada por uma crescente demanda internacional por este produto. Mas as condições naturais favoráveis (relevo plano, boa estrutura do solo) associadas ao desenvolvimento de novas técnicas agrícolas e aos amplos investimentos em infraestrutura de transporte foram fatores decisivos que viabilizaram a expansão da soja na região do Cerrado.

A Secretaria de Biodiversidade e Florestas do Ministério do Meio Ambiente - SBF/MMA, por meio de acordo de cooperação técnica com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - Ibama, elaboraram e executaram o Sistema de Monitoramento por Satélite do Desmatamento nos Biomas Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal, com intuito de quantificar desmatamentos de áreas com vegetação nativa e de embasar ações de fiscalização e combate a desmatamentos ilegais, cabendo ao Centro de Sensoriamento Remoto do Ibama - CSR a detecção dos desmatamentos. Os resultados preliminares obtidos indicam que, em 2008, o Cerrado apresentava uma área de cobertura vegetal nativa da ordem de 1.053.966,85 km<sup>2</sup>, o que equivale a 51,68% da área original do bioma. Entre 2002 a 2008 o bioma

perdeu 7,5% de sua cobertura vegetal remanescente, indicando uma taxa média anual efetiva de desmatamento na ordem de 0,69% ao ano (MMA, 2009). As informações acima tem como base a área do bioma (2.039.386,85 km<sup>2</sup>), a área da vegetação remanescente em 2002 (1.136.521 km<sup>2</sup>) e o desmatamento entre 2002 e 2008 (85.074 km<sup>2</sup>).

## **2.6. Estoques de carbono no solo sob vegetação nativa do Cerrado**

Latosolos, Neossolos Quartzarênicos e Argissolos representam respectivamente 46%, 15 % e 15% da área total do Cerrado. Em geral são solos bastante intemperizados, ácidos, com baixas concentrações de nutrientes e altos teores de alumínio. São dominados por argilo-minerais de baixa atividade, como hematita, gibbsita e caolinita (Reatto et al., 1998). Sob tais condições, a matéria orgânica do solo é particularmente importante para os processos físicos, químicos e biológicos relacionados à ciclagem de nutrientes, estruturação do solo e disponibilidade de água para o crescimento das plantas (Resck, 1998; Resende et al., 1996).

Considerando os valores médios de estoques de carbono para savanas tropicais estimados pelo IPCC (2000), os estoques de carbono no Cerrado seriam de aproximadamente 5,9 Gt C na vegetação e 23,8 Gt C no solo (primeiros 100 cm). Isso representaria um estoque de cerca de 29 Mg C ha<sup>-1</sup> na vegetação e 117 Mg C ha<sup>-1</sup> no solo. No entanto, o uso de valores médios para estimativas de estoques de carbono para o Cerrado pode representar uma simplificação irrealista, pois nestes ecossistemas há uma grande variedade de tipos de vegetação, que vão desde campos dominados por herbáceas até formações florestais com dossel bem fechado. Estimativas baseadas em medidas diretas ainda não estão disponíveis, mas existem algumas informações para fitofisionomias específicas do bioma Cerrado (Bustamante et al., 2006).

Abdala (1993) estimou os estoques de carbono em diferentes compartimentos de cerrado *sensu stricto*. O estoque total de carbono na vegetação e no primeiro metro de solo foi de 265 Mg ha<sup>-1</sup>, divididos entre o estrato arbóreo (28,5 Mg ha<sup>-1</sup>), estrato herbáceo (4,0 Mg ha<sup>-1</sup>), serapilheira (5,0 Mg ha<sup>-1</sup>), raízes e detritos (42,5 Mg ha<sup>-1</sup>) e matéria orgânica do solo (185,0 Mg ha<sup>-1</sup>). Estes resultados enfatizam a importância do solo como um reservatório de carbono nos ecossistemas de cerrado.

A Tabela 1, modificada de Bustamante et al. (2006), resume os valores publicados de estoques de C no solo sob diferentes coberturas vegetais e pastagens cultivadas na região do Cerrado. Os valores para 100cm de profundidade do solo variam de ~ 99 até 209 Mg.ha<sup>-1</sup>. O conteúdo de C orgânico tende a crescer com o conteúdo de argila, como já foi relatado para vários outros ecossistemas (e.g. Feller and Beare, 1997, para ecossistemas tropicais; Christensen, 2000, para ecossistemas temperados). As fitofisionomias de campo limpo e campo sujo tendem a estocar mais C no solo que os tipos fitofisionômicos com maior densidade de lenhosas (como mata de galeria, cerradão e cerrado *sensu stricto*), provavelmente devido às maiores taxas de renovação dos sistemas radiculares em gramíneas (Bustamante et al., 2006).

**Tabela 1.** Estoques de C (Mg/ha) em latossolos da região do Cerrado sob diferentes coberturas vegetais.

Uso da terra	Área (ha)	Conteúdo de C (0 – 100 cm)	Teor de argila (g.kg <sup>-1</sup> )	Referência
<b>Áreas nativas</b>	86.130.000			Sano et al. (2001)
Cerradão		148,0	689 – 808	Lardy et al. (2002)
Cerrado <i>sensu stricto</i>		143,0	672 – 697	Lardy et al. (2002)
Cerrado <i>sensu stricto</i>		195,0	600 – 750	Roscoe et al. (2000)
Cerrado <i>sensu stricto</i>		145,0	480	Resck et al. (2000)
Campo sujo		209,0	568 – 668	Lardy et al. (2002)
Campo limpo		198,0	436 – 589	Lardy et al. (2002)
Mata de galeria		165,0	626 – 715	Lardy et al. (2002)
Faixa de variação		143 - 209		
<b>Pastagens nativas</b>	27.144.000			Sano et al. (2001)
Cerrado pastado		174,0	716 – 724	Lardy et al. (2002)
Cerrado pastado		99,7	567 – 640	Silva et al. (2004)
Faixa de variação		100 - 174		
<b>Pastagens cultivadas</b>	48.000.000			Sano et al. (2001)
Pastos de 12 anos		161,0	488 – 635	Lardy et al. (2002)
Pastagens cultivadas		97,1 x 113	587 x 610 (0 - 20 cm)	Silva et al. (2004)
(degradadas x fertilizadas)			634 x 654 (80 - 20 cm)	

Fonte: modificada de Bustamante et al. (2006).

## 2.7. Impactos da conversão de Cerrado nativo para espécies cultivadas

Os estoques de C do solo em ecossistemas naturais geralmente se encontram em um estado de equilíbrio dinâmico, no qual há um balanço entre as entradas através da deposição da serapilheira e a perda de carbono do solo na forma de CO<sub>2</sub>, oriundo da respiração dos organismos vivos do solo. Diversos trabalhos mostram redução nos estoques de C do solo após a conversão de áreas nativas para cultivos agrícolas (Bayer & Mielniczuk, 1999; Resck et al., 2000). A fração ativa é mais sensível as mudanças

após a conversão e a fração passiva, de decomposição mais lenta, também sofre uma redução significativa, porém bem mais suave.

Uma das principais razões da diminuição dos estoques de carbono no solo após a implantação de espécies cultivadas é que a biomassa produzida nos sistemas agrícolas (sementes, frutos e parte da palhada) é removida e exportada para comercialização ou utilização em outro lugar. Além disso, no caso específico dos ecossistemas nativos do Cerrado, a biomassa radicular representa geralmente cerca de dois terços de toda a produção vegetal. Assim, após a conversão de uma área nativa, a atividade dos microrganismos do solo vai consumindo os estoques de C orgânico presentes no solo, o carbono vai sendo liberado como CO<sub>2</sub> e caso não haja alguma prática de manejo que busque suprir esses estoques com deposição de algum tipo de material vegetal sobre o solo, o sistema passa a funcionar como uma fonte de carbono para atmosfera. Outras evidências de degradação da qualidade do solo, redução da capacidade suporte e infiltração de água como resultado da utilização convencional do arado na região do Cerrado têm sido amplamente reportadas (Silva et al., 1994; Lepsch et al., 1994; Resende et al., 1996; Resck, 1998; Resck et al., 2000).

O plantio direto é uma das técnicas de manejo agrícola que pode atenuar essas perdas (Corazza et al., 1999; Bayer et al., 2004; Oliveira et al., 2004). No plantio direto, os resíduos vegetais remanescentes após a colheita não são removidos e não há uso de arado para preparação do solo. Assim, o teor de matéria orgânica do solo é conservado não só devido à permanência dos resíduos vegetais sobre o solo após a colheita, mas principalmente por que, na ausência da aração, a estrutura do solo, conferida pela formação de agregados, é mantida. A utilização do arado no plantio convencional quebra os complexos formados entre os argilominerais e compostos orgânicos. Assim, os compostos orgânicos ficam desprotegidos e sofrem ação mais direta dos decompositores.

## **2.8. Estoques de C em pastagens cultivadas**

Os dados sobre estoque de C no solo em áreas de savana nativa convertidas para pastagens cultivadas estão resumidos na Tabela 1. Estudos sobre estoque de C no solo sob pastagens submetidas a diferentes formas de manejo têm relatado que pastagens cultivadas sob manejo intensivo podem manter ou até aumentar o conteúdo de C no solo

(Corazza et al., 1999; Roscoe et al., 2001; Silva et al., 2004). Por outro lado, as entradas de C no solo sob pastagens degradadas com baixa produtividade são baixas demais para sustentar os estoques de C observados sob cerrado nativo. O estudo de Silva et al. (2004) mostrou que a acumulação de C nas pastagens só ocorre em áreas submetidas a tratamentos de fertilização, ainda assim, a magnitude desta acumulação é baixa se comparada aos estoques iniciais de C no solo sob cerrado nativo (Tabela 1).

Assim, os dados disponíveis indicam um potencial apenas limitado para o seqüestro de C no solo com a conversão de cerrado nativo em pastagens cultivadas. Além disso, os possíveis benefícios para o estoque de C no solo oriundos deste tipo de conversão são acompanhados por amplos impactos negativos sobre a biodiversidade do bioma Cerrado. Portanto, é importante que fique claro que o potencial para o seqüestro de C pelo solo não reside no desmatamento de vegetações nativas para abertura de novas pastagens, mas sim na recuperação de pastagens degradadas já existentes (Bustamante et al., 2006).

### **3. Objetivos**

#### **Objetivo Geral**

Traçar cenários para o manejo de pastagens cultivadas na região do cerrado, de forma a incrementar os estoques de carbono no solo e reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

#### **Objetivos específicos**

1. Organizar bancos de dados com informações obtidas em levantamento bibliográfico sobre estoques de carbono no solo na região do cerrado;
2. Utilizar o modelo Century para simular os estoques de C no solo sob diferentes cenários de produção (pastagem de alta produtividade, pastagem de baixa produtividade, integração lavoura-pecuária com plantio convencional, integração lavoura-pecuária com plantio direto).

## **4. Hipóteses**

1. Pastagens cultivadas com gramíneas de alto potencial produtivo e submetidas a reformas e fertilizações periódicas resultam em incremento em longo prazo nos estoques de C do solo, quando comparados aos estoques originais sob condições nativas.

2. Os cenários de integração lavoura-pecuária devem apresentar menores estoques de C do solo quando comparados aos cenários de pastagens contínuas, devido à menor razão C/N do material vegetal derivado das culturas anuais e, conseqüentemente, ao menor tempo de decomposição desse material vegetal depositado sobre o solo nos sistemas de integração lavoura-pecuária.

3. Em relação ao cenário de integração lavoura-pecuária com plantio convencional, o cenário simulado com plantio direto apresentará maiores estoques de C do solo, devido à ausência de eventos de revolvimento do solo e à manutenção dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo.

## **5. Material e Métodos**

### **5.1. Levantamento bibliográfico e formação do banco de dados**

O levantamento bibliográfico contemplou as publicações de estudos realizados no Cerrado sobre estoques e fluxos de carbono no solo sob pastagens cultivadas. Os dados obtidos nestes estudos foram organizados em um banco de dados em Sistema de Informação Geográfico (SIG), contendo, para cada estudo, as seguintes informações: título, autores, localização, pluviosidade, temperatura, classificação do solo, textura do solo, espécie cultivada, tempo de conversão, estoque de C, profundidade do perfil avaliado, produção de biomassa vegetal, regimes de fertilização, pressão de pastejo e reforma das pastagens.

## **5.2. Modelagem da dinâmica de C no solo com CENTURY**

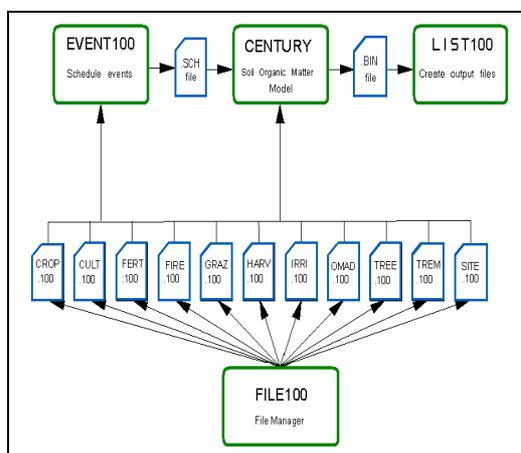
A modelagem de processos biológicos tem por objetivo o planejamento do uso da terra e as estimativas dos riscos e potenciais das atividades agrícolas e ambientais. CENTURY é um modelo de decomposição de matéria orgânica que simula a dinâmica dos nutrientes em seus ciclos anuais, projetando previsões pra escalas temporais de longo prazo. Ele é composto por sub-modelos capazes de integrar variados fatores envolvidos nos processos de decomposição, como, por exemplo, regimes hídrico e térmico, produtividade, textura do solo, fertilização, fogo, técnicas de plantio e colheita, entre outros. Esse modelo pode ser aplicado tanto em ecossistemas naturais como em sistemas de produção agrícola. Alguns sub-modelos do CENTURY foram especificamente desenvolvidos para analisar os efeitos do manejo na produtividade e na sustentabilidade de agroecossistemas.

Apesar do CENTURY ter sido originalmente desenvolvido para estudos em vegetações dominadas por gramíneas (Parton et al., 1987), este modelo foi expandido em suas versões mais atuais para incluir sistemas de produção agrícola e ecossistemas florestais. Vários estudos têm verificado a utilidade e a confiabilidade das modelagens com CENTURY, tanto em sistemas agrícolas (Paustian et al., 1992; Carter et al, 1993; Parton & Rasmussen, 1994; Kelly et al. 1997; Faloon & Smith, 2002; Gijssman et al., 2002) como também em sistemas florestais de regiões temperadas e tropicais (Kirschbaum & Paul, 2002; Romanya et al., 2000; Cerri et al., 2007; Sanford et al.; 1991; Wang et al, 2002).

Por meio do modelo, pode-se relacionar o teor de MO aos níveis de fertilidade, aos tipos de solo, às condições climáticas e ao manejo de sistemas produtivos que difiram nas práticas agronômicas empregadas, tais como rotação de culturas, preparo do solo, técnicas de colheita, fertilização, irrigação. Assim, as análises cuidadosas das simulações permitem ao pesquisador otimizar seu entendimento sobre as transformações e fluxos de nutrientes nos solos e auxiliar no desenvolvimento de sistemas de manejo sustentáveis (Leite & Mendonça, 2003).

### 5.2.1. Composição do modelo Century

O modelo Century é composto por três programas principais, que se relacionam para gerar as simulações. Na Figura 1, as caixas em verde representam esses programas.



**Figura 1.** Programas e arquivos componentes do modelo Century.

**File100:** programa integrante do modelo Century, composto por 11 arquivos (CROP, CULT, FERT, FIRE, GRAZ, HARV, IRRI, OMAD, TREE, TREM e SITE), nos quais são definidos os valores dos parâmetros que caracterizam o cenário a ser simulado.

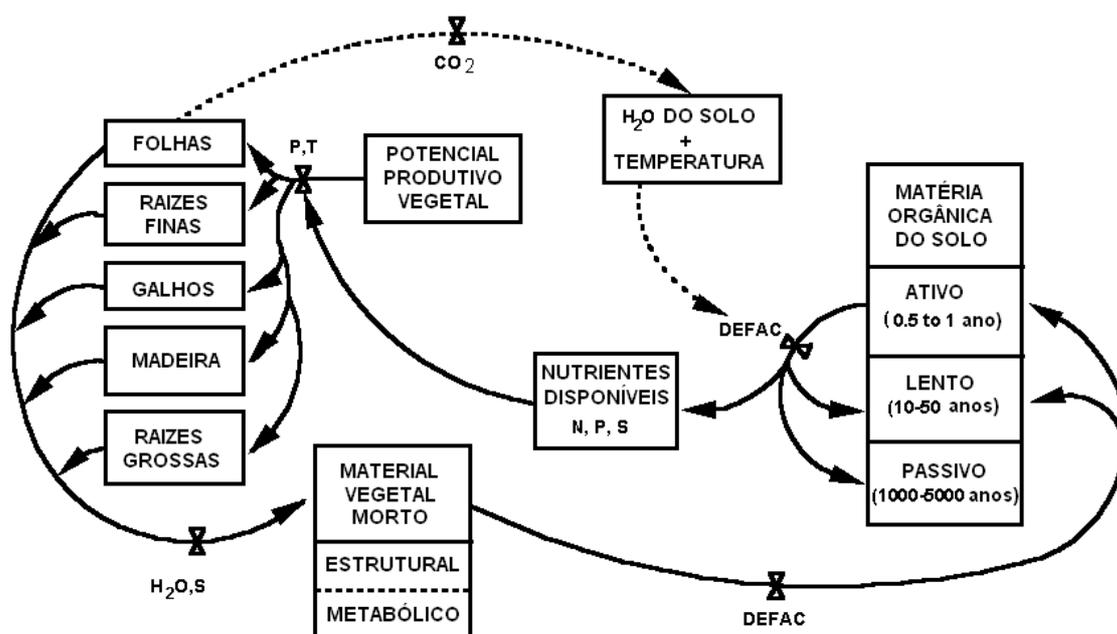
- Crop: caracteriza as espécies vegetais cultivadas;
- Cult: caracteriza as técnicas de cultivo empregadas;
- Fert: informações sobre adição de fertilizantes;
- Fire: informações sobre utilização do fogo no manejo;
- Graz: informações sobre a atividade animal de pastagem;
- Harv: caracteriza as técnicas de colheita empregadas;
- Irri: caracteriza o uso de irrigação no sistema;
- Omad: informações sobre adição de matéria orgânica ao sistema;
- Tree: informações sobre vegetações arbóreas;
- Trem: caracteriza as técnicas de remoção de vegetações arbóreas;
- Site: informações referentes às particularidades ambientais locais.

**Event100:** programa componente do modelo Century cuja função é agendar as épocas em que cada evento vai acontecer ao longo do tempo de simulação. No Event100 são definidas, por exemplo, as épocas de plantio e colheita, as épocas em que ocorrem as fertilizações e os eventos de pastagem.

**Century:** é o modelo propriamente dito. Faz as relações entre os parâmetros definidos no File100 com os eventos agendados no Event100 e calcula os estoques de carbono após o período de tempo requerido. O Century gera os resultados na forma de um arquivo em código binário. Então, o List100 transforma em texto esse arquivo binário com os resultados finais dos estoques simulados de carbono no solo.

### 5.2.2. Estrutura conceitual do modelo Century (Fonte: Leite & Mendonça, 2003)

Para os cálculos dos estoques de carbono no solo, o modelo CENTURY é baseado nos conhecimentos mais atuais acerca dos fatores biogeoquímicos que envolvem a dinâmica da matéria orgânica no solo. O modelo trabalha em escala de metro quadrado e simula a camada superficial 0-20 cm, usando etapa de tempo mensal. A Figura 2 apresenta a estrutura conceitual utilizada para os cálculos realizados nas simulações.



**Figura 2.** Estrutura conceitual do modelo Century (adaptado de Parton et al., 1994).

Durante a etapa de parametrização do modelo, são fornecidas no arquivo site.100 do programa File100 informações ambientais locais, como temperaturas mensais máximas e mínimas, precipitação mensal, textura do solo, conteúdo inicial de C e N do solo, etc. No arquivo crop.100 é definida a produtividade potencial para a espécie vegetal cultivada. O programa Century utiliza essas informações para calcular quanto dessa produtividade potencial será “realizada” pelo sistema simulado, considerando principalmente as limitações pela disponibilidade de água, luz e quantidade inicial de nutrientes no solo.

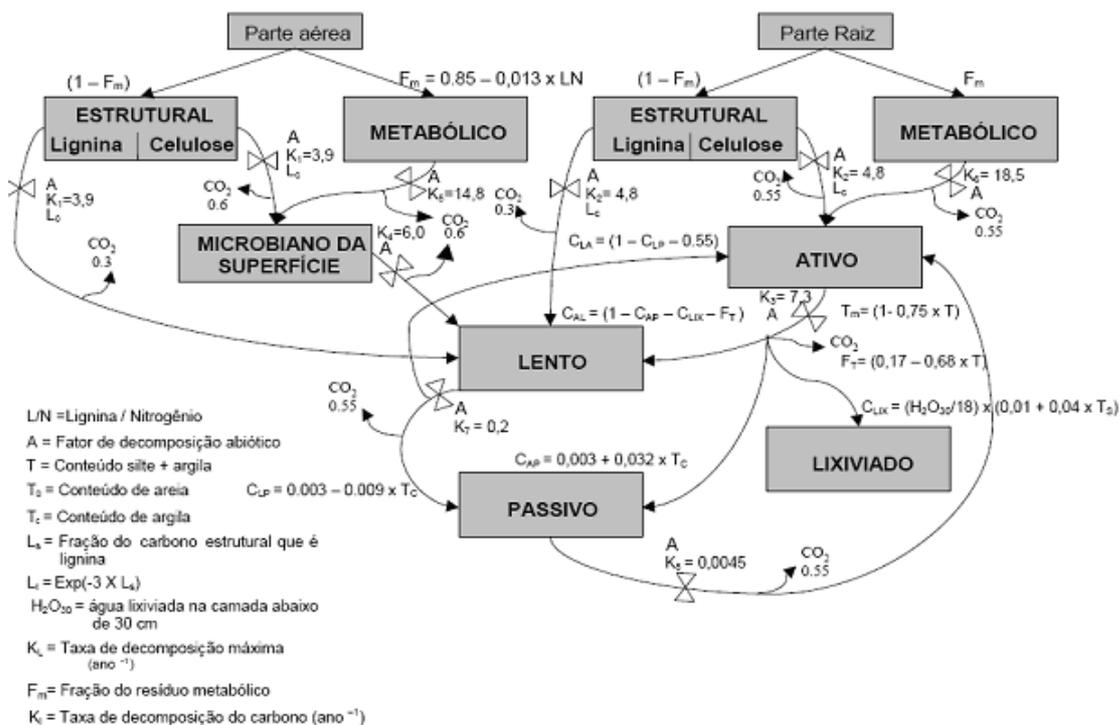
A partir dessa produtividade simulada (onde já foram considerados os efeitos ambientais limitantes) o modelo simula a partição do carbono assimilado pela fotossíntese que será alocado em cada compartimento da biomassa vegetal. Essa etapa é importante, pois os diferentes compartimentos vegetais (folhas, galhos, raízes, etc) apresentam diferentes razões C/N e quando entram em senescência e são depositados na superfície do solo são submetidos a diferentes taxas de decomposição.

De acordo com essas diferenças, o modelo separa os resíduos vegetais em dois compartimentos: METABÓLICO e ESTRUTURAL. O compartimento metabólico é composto pelos resíduos vegetais com uma razão C/N menor (maior teor de N), que são decompostos mais rapidamente (0,1 a 1 ano) e, portanto, o C presente nesse material passa mais rapidamente a compor os estoques de C do solo. Por outro lado, a maior parte dos fluxos de C entre os compartimentos é perdido como CO<sub>2</sub>, liberado de volta para a atmosfera. O compartimento estrutural é composto pelos resíduos com maior conteúdo de lignina e celulose e, portanto, são decompostos mais lentamente (1 a 5 anos). Além desses compartimentos, existe o compartimento microbiano superficial, com taxa de renovação independente da textura do solo.

Parte dos produtos da decomposição da serapilheira é incorporada à biomassa microbiana e o restante passa a fazer parte de um dos três compartimentos (ativo, lento e passivo) de C orgânico do solo. Os compartimentos de C orgânico do solo são separados de acordo com o tempo de renovação:

- Ativo: até 1 ano;
- Lento: até 50 anos;
- Passivo: 5000 anos ou mais.

À medida que os resíduos vegetais são incorporados ao C orgânico do solo, esses compostos continuam interagindo com os microrganismos do solo, vão sendo transformados e passando de um compartimento a outro (Figura 3). Esse processo, influenciado pela umidade e temperatura do solo, resulta na gradativa mineralização dos nutrientes, que passam a ficar novamente disponíveis para absorção pelas plantas. Assim, de uma forma bastante simplificada, esse ciclo é fechado e o que se espera compreender ao final da simulação é o efeito dos diferentes tipos de manejos no tamanho e na qualidade desse estoque de carbono do solo em longo prazo.



**Figura 3.** Compartimentos e fluxos de C considerados no modelo Century. Fonte: Leite & Mendonça, 2003.

### 5.2.3. Etapas da Modelagem – Calibração, Validação e Análise de Sensibilidade

Os trabalhos com modelagens geralmente contemplam três etapas principais: (1) etapa de calibração, que consiste na atribuição de valores aos parâmetros de entrada de forma a caracterizar uma determinada condição ambiental local específica, (2) etapa de validação, que é a comparação dos resultados de simulações preliminares com valores obtidos em campo e (3) análise de sensibilidade, que é a avaliação dos efeitos de

pequenas mudanças nas variáveis de entrada sobre as variáveis de saída. Após o cumprimento dessas três etapas o pesquisador realiza a parametrização do modelo utilizando diferentes variações nos valores dos parâmetros de entrada para caracterizar os diferentes cenários que deseja avaliar.

## 6. Descrição dos cenários simulados

Para avaliar o efeito do tipo de manejo das pastagens sobre os estoques de C do solo em longo prazo foram simulados cinco cenários de produção. Os delineamentos dos cinco cenários foram baseados nas alternativas técnicas atuais mais recorrentemente citadas na literatura especializada. Os seguintes cenários foram caracterizados da seguinte forma:

- **Pastagem contínua de baixa produtividade (PCBP):** pastagem contínua com produção média de 6 Mg ha<sup>-1</sup>, com *Brachiaria brizantha*, sem renovação periódica, sem fertilização, com pressão de pastejo moderada (remoção de 20% da biomassa aérea a cada mês de pastejo durante a época da chuva e 5% de remoção na época da seca).
- **Pastagem contínua de alta produtividade (PCAP):** pastagem contínua com produção média de 12 Mg ha<sup>-1</sup>, com *Brachiaria brizantha*, com reforma periódica das pastagens e fertilização a cada quatro anos. A reforma é caracterizada pela implantação de nova pastagem após preparo do solo com utilização do arado, incorporando ao solo de toda a biomassa da pastagem precedente. Pressão de pastejo moderada (remoção de 20% da biomassa aérea a cada mês de pastejo durante a época da chuva e 5% de remoção na época da seca).
- **Integração lavoura-pecuária com plantio convencional (ILPC):** ciclos de rotação de seis anos, sendo três anos de pastagem contínua de alta produção média (12 Mg ha<sup>-1</sup>), seguidos por 2 anos de soja e 1 ano de milho. Para os cultivos de soja e milho o solo foi preparado com utilização de arado.
- **Integração lavoura-pecuária com plantio direto (ILPD):** ciclos de rotação de seis anos, sendo três anos de pastagem contínua de alta produção (12 Mg ha<sup>-1</sup>), seguidos por

dois anos de soja e um ano de milho. Para os cultivos de soja e milho o solo não foi preparado com utilização de arado.

- **Recuperação de pastagem de baixa produtividade:** foi utilizada a pastagem contínua de 13 anos descrita em Marchão (2007) simulada durante a etapa de validação. Após esse período de 13 anos, a pastagem contínua de baixa produtividade foi substituída pelos sistemas de PCAP e ILPD, cada um pelo período de 45 anos. Esse cenário foi modelado para avaliar o efeito da recuperação de uma área de baixa produtividade sobre o estoque de C do solo. **OBS:** As características da pastagem de baixa produtividade descrita em Marchão (2007) estão detalhadas na seção 7.1 Parametrização da etapa de validação.

**Tabela 2.** Características resumidas dos sistemas de produção simulados pelo modelo Century para as condições edafoclimáticas predominantes na região do Cerrado.

Sistema de produção	Produção da pastagem	Culturas anuais	Arado	Reforma da pastagem	Pressão de pastejo	Fertilização**	Teor de argila (g/kg)
PCBP	6 t/ha	Não	Não	Não	Moderada*	Não	612
PCAP	12 t/ha	Não	Sim	A cada 4 anos	Moderada	A cada 4 anos (A100)	612
ILPC	12 t/ha	Soja (2 anos)	Sim	-	Moderada	Soja (A100)	612
ILPD	12 t/ha	Milho (1 ano) Soja (2 anos) Milho (1 ano)	Não	-	Moderada	Milho(A100) Soja (A100) Milho(A100)	612

\*Remoção remoção de 20% da biomassa aérea a cada mês de pastejo durante a época da chuva e 5% de remoção na época da seca.

\*\*Fertilização automática do modelo Century. (A100) = quantidade de nutrientes suficiente para manter o potencial máximo de produção da espécie cultivada.

## 7. Descrição da parametrização do modelo

Todas as simulações do presente trabalho foram realizadas sob as condições edafoclimáticas observadas por Marchão (2007) na estação experimental da EMBRAPA – Cerrados, em Planaltina-DF. Essa referência foi escolhida por contemplar condições edafoclimáticas de ampla representatividade para a região do Cerrado. Essas condições

foram parametrizadas em um único arquivo SITE (Anexo A), que foi utilizado em todas as simulações do presente trabalho.

### **7.1 Parametrização da etapa de Validação**

Para validação do modelo utilizamos valores de estoque de C do solo observados por Marchão (2007) sob as condições edafoclimáticas locais da estação experimental da EMBRAPA Cerrados, situada em Planaltina-DF, sob vegetação nativa de cerrado *sensu stricto* e pastagem contínua de 13 anos.

Para simular o estoque de C sob cerrado nativo foi realizada uma simulação de dez mil anos, tempo suficiente para a estabilização do estoque de C do solo. A estabilidade dos estoques de C do solo sob vegetação nativa é decorrente do equilíbrio entre a entrada de C através da serapilheira somada à deposição radicular e a perda de CO<sub>2</sub> pela respiração dos organismos decompositores. Nessa simulação de equilíbrio sob condições nativas partimos de um arquivo TREE utilizado em um estudo de modelagens com Century sob condições nativas de Cerrado (Wendling, 2007). Alguns parâmetros desses arquivos foram alterados no sentido de aproximar os valores simulados de produção e partição da biomassa vegetal com os valores encontrados na literatura. Os valores dos arquivos TREE utilizados por Wendling (2007) bem como as alterações feitas para as simulações do presente trabalho estão detalhadas no Anexo A.

Após a modelagem sob condições nativas foi realizada a simulação da remoção da vegetação de cerrado *sensu stricto* para introdução da pastagem cultivada descrita por Marchão (2007). A escolha dos valores dos parâmetros necessários para simular as condições de manejo a que estava submetida essa pastagem contínua de 13 anos foi baseada em comunicação pessoal com o pesquisador Dr. Robélio Leandro Marchão, da Embrapa Cerrados. Essa pastagem foi simulada para apresentar produção de massa seca de 6 Mg ha<sup>-1</sup>. Ao longo do período de 13 anos, foi submetida a uma reforma aos 9 anos, quando ocorreu a substituição da espécie *Andropogon Gayanus* pela espécie *Brachiaria decumbens*. Ao longo dos 13 anos, ocorreram cinco eventos de fertilização, cujos respectivos teores de nutrientes adicionados estão apresentados no Anexo A, bem como todos os demais valores de todos os parâmetros utilizados na etapa de validação.

## 7.2 Parametrização dos cenários:

Após a validação, foram avaliados quatro cenários de manejo de pastagens cultivadas durante 45 anos. Todos os quatro cenários foram simulados a partir das mesmas condições nativas utilizadas na validação, portanto, em todas as simulações foram utilizados os mesmos arquivos FIX e SITE (Anexo A) que foram utilizados durante a etapa de validação do modelo.

Além dos arquivos FIX e SITE, durante a parametrização dos cenários foram utilizados os arquivos CROP, CULT, HARV, GRAZ, FERT. Os valores dos parâmetros de todos estes arquivos (CROP, CULT, HARV, GRAZ e FERT) foram baseados em comunicação pessoal com o Dr. Robélio Leandro Marchão, da Embrapa – Cerrados.

Os arquivos GRAZ e FERT (Anexo A) foram idênticos para todos os cenários com exceção da pastagem contínua de baixa produtividade (PCBP), que não recebeu fertilização (Tabela 5).

Aos parâmetros dos arquivos CROP utilizados para caracterizar as pastagens de todos os cenários foram atribuídos os mesmos valores com exceção da produção potencial (PRDX) das pastagens contínuas de alta e baixa produtividade. À pastagem contínua de baixa produtividade foi atribuída uma menor produtividade potencial e na pastagem contínua de alta produtividade foram utilizados quatro valores diferentes de PRDX para simular a perda da produtividade de biomassa ao longo dos quatro anos entre as reformas (Tabela 5). Os valores de saída de biomassa aérea e radicular de todas as culturas simuladas (pastagens, soja e milho) foram baseados em referências bibliográficas disponíveis para a região do Cerrado (Tabela 6).

Os arquivos CULT e HARV só foram utilizados nos cenários de integração lavoura-pecuária (ILPC e ILPD). Os valores dos arquivos HARV (Anexo A) são diferentes para a colheita de soja e milho, porém não diferem entre os cenários de plantio direto e convencional (Tabela 5). Para a colheita da soja, foi considerado que 5% dos resíduos vegetais da parte aérea são removidos durante a colheita dos grãos ( $RMVSTR = 0,05$ ) e que 20% desse resíduo vegetal da parte aérea permanece morto-em-pé após a colheita ( $REMWSO = 0,20$ ). Para a colheita do milho, consideramos que apenas 2% desses resíduos vegetais da parte aérea são removidos durante a colheita dos grãos ( $RMVSTR = 0,02$ ) e que 25% da palhada permanece morta-em-pé após a colheita ( $REMWSO = 0,25$ ).

Os arquivos CULT foram utilizados para diferenciar as técnicas de cultivo entres os dois cenários de integração lavoura-pecuária (Tabela 5). No plantio convencional consideramos que 100% do material vegetal vivo e morto acima do solo é transferido para o solo no momento do cultivo. No plantio direto consideramos que 100% do material vegetal vivo e morto-em-pé acima do solo é transferido para a serapilheira no momento do cultivo. Para simular o efeito do arado de disco sobre o processo de decomposição no plantio convencional, utilizamos um fator de cultivo (CLTEFF) igual a 4,0 para simular o aumento da decomposição de todos os compartimentos de matéria orgânica do solo. Nas modelagens esse efeito do arado de disco sobre o processo de decomposição só tem influência durante o mês de cultivo. No entanto, sob condições reais de campo, o aumento da decomposição em decorrência da desagregação provocada pelo arado continua influenciando a velocidade da decomposição por mais tempo além do mês em que ocorre o cultivo. Para adequar as simulações a essa realidade utilizamos no SCHEDULE eventos CULT nos dois meses seguintes ao mês do cultivo. Os valores dos parâmetros dos arquivos CULT nos dois meses seguintes são diferentes dos valores do arquivo CULT utilizado no mês do cultivo. Esses valores bem como as diferenças entre os dois arquivos estão detalhadas no Anexo A.

Os arquivos CULT utilizados no primeiro ano de soja nos ciclos de ILP também são diferentes daqueles utilizados no segundo ano de soja e no cultivo do milho. A única diferença entre os dois arquivos está nos valores atribuídos ao parâmetro CULTRA(2) e CULTRA(3), relativo à fração de biomassa aérea viva que é transferida, respectivamente, para a serapilheira e para o solo no momento do cultivo. Optamos por essa diferenciação pois no segundo ano de soja e no momento do cultivo do milho não há nenhuma biomassa aérea viva disponível para ser transferida para o solo, portanto em ambos os casos atribuímos valor zero para os parâmetros CULTRA(2) e CULTRA(3). Já no momento do cultivo do primeiro ano de soja o solo se encontra coberto por pastagem e, portanto, há biomassa aérea viva para ser transferida para o solo no momento do cultivo. Os valores atribuídos a cada um desses parâmetros estão detalhados no Anexo A e o tipo de arquivo utilizado em cada cenário estão detalhados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Relação dos arquivos utilizados nos diferentes cenários simulados pelo modelo Century.

	<b>Validação</b>	<b>PCBP</b>	<b>PCAP</b>	<b>ILPC</b>	<b>ILPD</b>
<b>SITE</b>	site.100	site.100	site.100	site.100	site.100
<b>FIX</b>	fix.100	fix.100	fix.100	fix.100	fix.100
<b>TREE</b>	CN2	-	-	-	-
<b>TREM</b>	CC	-	-	-	-
			MA1, MA2, MA3,		
<b>CROP</b>	BD, AND	BE5	MA4	BE1, SJ, MRM	BE1, SJ, MRM
<b>CULT</b>	-	-	REF, CEF	RPC, S1C, CEF	RPD, S1D
<b>HARV</b>	-	-	-	HS, HM	HS, HM
<b>GRAZ</b>	BM	BM, BS	BM, BS	BM, BS	BM, BS
<b>FERT</b>	*	-	A100	A100	A100

\* Os teores de nutrientes aplicados nas fertilizações da validação estão detalhados nos Anexos A e C.

## 8. Resultados

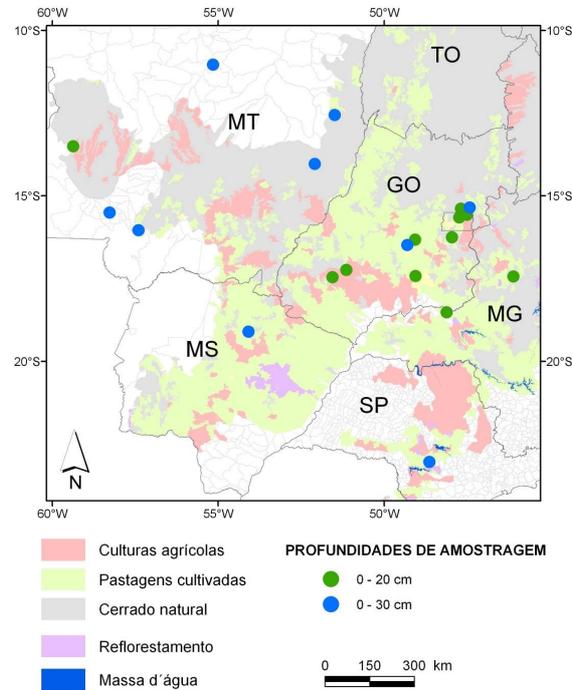
### 8.1. Resultados do levantamento bibliográfico

As tabelas completas com todos os dados detalhados obtidos no levantamento bibliográfico sobre estoques de C do solo sob ecossistemas nativos e pastagens cultivadas estão no Anexo C. A seguir são apresentadas, de forma resumida, as informações consideradas mais relevantes de acordo com os objetivos do presente trabalho.

Com os dados do levantamento bibliográfico sobre estoques de C dos solos na região do Cerrado foi elaborado um mapa georreferenciado com todos os pontos onde há informações publicadas sobre estoques de C do solo.

Foram espacializados 23 pontos representantes dos locais em que houve coletas de campo e análises de laboratório para avaliar os estoques de C do solo na região do Cerrado. Doze dos 23 locais foram avaliados na profundidade de 0 – 20 cm. Nove pontos foram amostrados na profundidade de 0 – 30 cm. Um dos estudos avaliou os estoques de C até 45 cm de profundidade (Figura 4). Os dados obtidos sobre os estoques de C no solo indicam que há uma faixa normal bem estabelecida para os estoques de C do solo na região do cerrado, com 74% dos estudos apontando estoques entre 30 e 50

Mg C ha<sup>-1</sup> (profundidade de 0-20 e 0-30 cm), sendo que 96% dos estudos foram realizados em Latossolos.



**Figura 4.** Locais de estudos publicados sobre estoques de C na região do Cerrado.

A Tabela 4 sintetiza as principais informações obtidas no levantamento bibliográfico sobre estoques de C sob pastagens cultivadas na região do Cerrado. Foram encontrados nove artigos contendo informações sobre pastagens cultivadas, dos quais quatro foram realizados no Distrito Federal (Corazza et al, 1999; Lardy et al, 2002; Silva et al, 2004; Marchão et al, 2009) e outros quatro, no estado de Goiás (Freitas, 2000; d'Andrea, 2004; Corbeels et al, 2006; Siqueira Neto, 2006). Isso reflete a grande centralização dos estudos e a necessidade de maior abrangência espacial para esse tipo de trabalho. Além disso, apenas um dos nove trabalhos encontrados avaliou os estoques de C em Neossolo Quartzarênico (Frazão, 2007), todos os demais trabalhos foram realizados em Latossolos. Apenas dois trabalhos avaliaram os efeitos de espécies de gramíneas que não pertencem ao gênero *Brachiaria* (Silva et al, 2004; Marchão et al, 2009). A maior parte dos trabalhos avaliou o efeito da conversão de cerrado nativo em pastagem cultivada em longo prazo (entre 10 e 15 anos), mas somente um dos trabalhos

avaliou esse efeito em prazo maior que 20 anos (Frazão, 2007). Apenas dois dos nove trabalhos avaliaram o efeito de reformas das pastagens sobre os estoques de C do solo (Freitas, 2000; Marchão et al, 2009). Cinco trabalhos avaliaram pastagens que haviam sido submetidas a fertilizações (Freitas, 2000; Lardy et al, 2002; Silva et al, 2004; Siqueira Neto, 2006; Marchão et al, 2009). Nenhum dos trabalhos informa com precisão a pressão de pastejo a que estavam submetidas as pastagens avaliadas e apenas um dos nove trabalhos informa com precisão a produtividade das pastagens avaliadas (Silva et al, 2004).

Quatro dos nove estudos observaram incremento nos estoques de C do solo sob pastagens cultivadas quando comparados com os estoques sob condições nativas. Não foi realizada correção dos estoques para o efeito do adensamento do solo em nenhum dos estudos que verificaram incremento de C no solo após a conversão das áreas nativas em pastagem cultivada (Corazza et al, 1999; Lardy et al, 2002; d'Andrea, 2004; Silva et al, 2004). Em todos os estudos nos quais foi realizada a correção para o efeito da densidade verificou-se perda nos estoques de C após a conversão (Corbeels et al, 2006; Siqueira Neto, 2006; Frazão, 2007; Marchão et al, 2009).

**Tabela 4.** Resumo das principais informações encontradas após a sistematização dos dados obtidos no levantamento bibliográfico sobre pastagens cultivadas na região do Cerrado.

<b>Atributo – variável</b>	<b>Número de</b>	<b>Referências</b>
----------------------------	------------------	--------------------

<b>estudos</b>		
<b>Localização</b>		
Distrito Federal	4	Corazza et al, 1999; Lardy et al, 2002;
Goiás	4	Silva et al, 2004; Marchão et al, 2009 Freitas, 2000; d'Andrea, 2004;
Mato Grosso	1	Corbeels et al, 2006; Siqueira Neto, 2006 Frazão (2007)
<b>Tipo de solo</b>		
Latossolo	8	Corazza et al, 1999; Lardy et al, 2002; Silva et al, 2004; Marchão et al, 2009; Freitas, 2000; d'Andrea, 2004;
Neossolo Quartzarênico	1	Corbeels et al, 2006; Siqueira Neto, 2006 Frazão, 2007
<b>Espécie forrageira</b>		
<i>Brachiaria</i> spp.	9	Corazza et al, 1999; Lardy et al, 2002; Silva et al, 2004; Marchão et al, 2009; Freitas, 2000; d'Andrea, 2004;
Outras espécies	2	Corbeels et al, 2006; Siqueira Neto, 2006; Frazão, 2007 Silva et al, 2004; Marchão et al, 2009
<b>Tempo de conversão</b>		
Menos de 10 anos	1	Silva et al, 2004
Entre 10 e 15 anos	5	Lardy et al, 2002; Marchão et al, 2009; Freitas, 2000; d'Andrea, 2004;
De 16 a 20 anos	2	Corbeels et al, 2006 Corazza et al, 1999
Mais de 20 anos	1	Siqueira Neto, 2006 Frazão, 2007
<b>Reforma das pastagens</b>		
Sim	2	Freitas, 2000; Marchão et al, 2009
Não	7	Corazza et al, 1999; Lardy et al, 2002; Silva et al, 2004; d'Andrea, 2004; Corbeels et al, 2006; Siqueira Neto, 2006; Frazão, 2007
<b>Fertilização</b>		
Sim	5	Freitas, 2000; Lardy et al, 2002; Silva et al, 2004; Siqueira Neto, 2006;

Não	4	Marchão et al, 2009 Corazza et al, 1999; d'Andrea, 2004; Corbeels et al, 2006; Frazão, 2007
<b>Informa com precisão a</b>		
<b>pressão de pastejo</b>		
Sim	0	-
Não	9	Corazza et al, 1999; Lardy et al, 2002; Silva et al, 2004; Marchão et al, 2009; Freitas, 2000; d'Andrea, 2004; Corbeels et al, 2006; Siqueira Neto, 2006; Frazão, 2007
<b>Informa com precisão a</b>		
<b>biomassa forrageira</b>		
Sim	1	Silva et al, 2004
Não	8	Corazza et al, 1999; Lardy et al, 2002; Marchão et al, 2009; Freitas, 2000; d'Andrea, 2004; Corbeels et al, 2006; Siqueira Neto, 2006; Frazão, 2007
<b>Variação do estoque de C da</b>		
<b>pastagem em relação à área</b>		
<b>nativa</b>		
Incremento	4	Corazza et al, 1999; Lardy et al, 2002; d'Andrea, 2004; Silva et al, 2004
Perda	6	Silva et al, 2004; Marchão et al, 2009; Freitas, 2000; Corbeels et al, 2006; Siqueira Neto, 2006; Frazão, 2007

## 8.2 Resultados das simulações:

### 8.2.1 Resultados das simulações da etapa de Validação do modelo

Os valores simulados de produção de biomassa da vegetação nativa (Tabela 5), bem como sua partição entre os diferentes compartimentos aéreos e subterrâneos (Tabela 6) foram comparados com valores observados por Castro & Kauffman (1998) e Silva (1990). Os valores apresentados nas Tabelas 5 e 6 indicam que as simulações de equilíbrio sob vegetação nativa de cerrado *sensu stricto* foram capazes de representar

satisfatoriamente a produção e partição de biomassa aérea e radicular verificados nesses ecossistemas nativos.

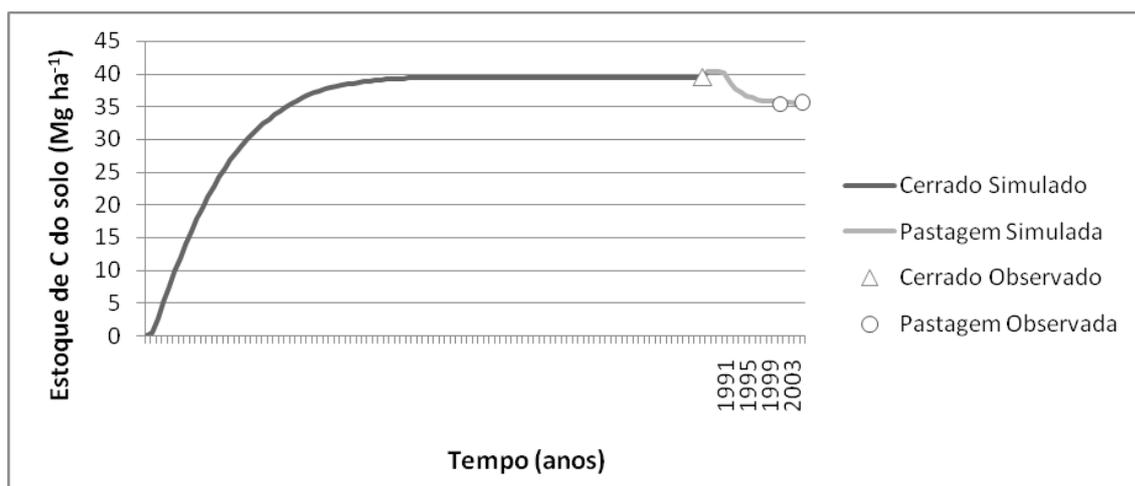
**Tabela 5.** Biomassa (Mg C/ha) da vegetação nativa de cerrado observada (Castro & Kauffman, 1998) e simulada pelo modelo Century durante a etapa de validação.

	<b>Simulado</b>	<b>Observado</b>
<b>Parte aérea</b>	18,8	18,4
<b>Parte radicular (0 – 20 cm)</b>	32,0	33,0
<b>Liteira</b>	3,3	3,3

**Tabela 6.** Valores observados (Silva, 1990) e simulados pelo modelo Century durante a etapa de validação para a distribuição da biomassa da vegetação nativa de cerrado entre os diversos compartimentos aéreos.

	<b>Simulado</b>	<b>Observado</b>
<b>Folhas</b>	22%	5%
<b>Tronco</b>	60%	75%
<b>Galhos</b>	18%	20%

Na figura 5 verifica-se o grau de aproximação dos valores simulados com os valores observados por Marchão (2007) para os estoques de C do solo tanto sob vegetação nativa de cerrado *sensu stricto* quanto para a pastagem contínua de 13 anos avaliada em condições experimentais de campo. Além disso, para avaliar a acurácia desses resultados simulados em relação aos valores medidos em campo, foram realizados testes estatísticos relativos à raiz quadrada do erro (RMSE), por meio do programa MODEVAL 2.0 (Smith et al (1997)). A análise estatística da raiz quadrada do erro (RMSE) mostrou que os valores simulados encontram-se dentro do intervalo de confiança (95%) dos resultados mensurados em campo.



**Figura 5.** Estoques de C total do solo (0-20 cm) observados (Marchão, 2007) e simulados pelo modelo Century durante a etapa de validação.

### 8.2.2 Produtividade primária líquida e entradas de C para o solo

Os valores simulados de produtividade primária líquida (PPL) indicam que todos os cenários, com exceção da PCBP, apresentam PPL superior ao cerrado nativo. Apesar disso, nenhum dos cenários simulados apresenta valor de entrada de C para o solo superior ao simulado para a vegetação nativa de cerrado. Os valores simulados de PPL e entrada de C no solo estão apresentados na Tabela 7.

Os valores simulados para produção de biomassa (em Mg C ha<sup>-1</sup>) de cada espécie vegetal utilizada nos quatro cenários avaliados foram comparados com valores de produção encontrados na literatura. Essa comparação está apresentada na Tabela 8.

**Tabela 7.** Produtividade primária líquida e entradas de C para o solo no cerrado nativo e nos quatro cenários de produção agropecuária simulados pelo modelo Century para as condições edafoclimáticas predominantes na região do Cerrado.

	<b>Produtividade Primária Líquida*</b> (Mg C ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	<b>Entrada de C*</b> (Mg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
<b>Cerrado</b>	2,38	2,35
<b>PCBP</b>	1,14	0,86
<b>PCAP</b>	2,54	1,92
<b>ILPC</b>	2,60	1,79
<b>ILPD</b>	2,61	2,00

\*Valores médios ao longo dos 45 anos de simulação.

**Tabela 8.** Valores observados\* e simulados de produção de biomassa aérea e radicular (em Mg ha<sup>-1</sup>) das culturas utilizadas nas modelagens com Century.

		<b>Soja</b>	<b>Milho</b>	<b>Pastagem**</b>
<b>Parte aérea</b>	Simulado	2,94	3,88	12
	Observado	2,35	3,57	12
<b>Parte radicular</b>	Simulado	3,44	3,95	12
	Observado	3,09	4,27	12
<b>Grãos</b>	Simulado	3,52	4,65	-
	Observado	3,33	4,53	-

\*Valores observados para a soja apresentados em Herzog et al (2004). Valores observados para o milho apresentados em Silva et al (2008) e Wilts et al (2004). Valores observados para a pastagem de alta produtividade apresentados em Costa et al (2001), Alvim et al (1990) e Santos et al (2007).

\*\* Valores simulados para produção das partes aéreas e radiculares da pastagem utilizados nos cenários de Pastagem Contínua de Alta Produtividade (PCAP) e nos dois cenários de Integração Lavoura-pecuária (ILPC e ILPD).

### 8.2.3 Transição do cerrado nativo para os sistemas cultivados

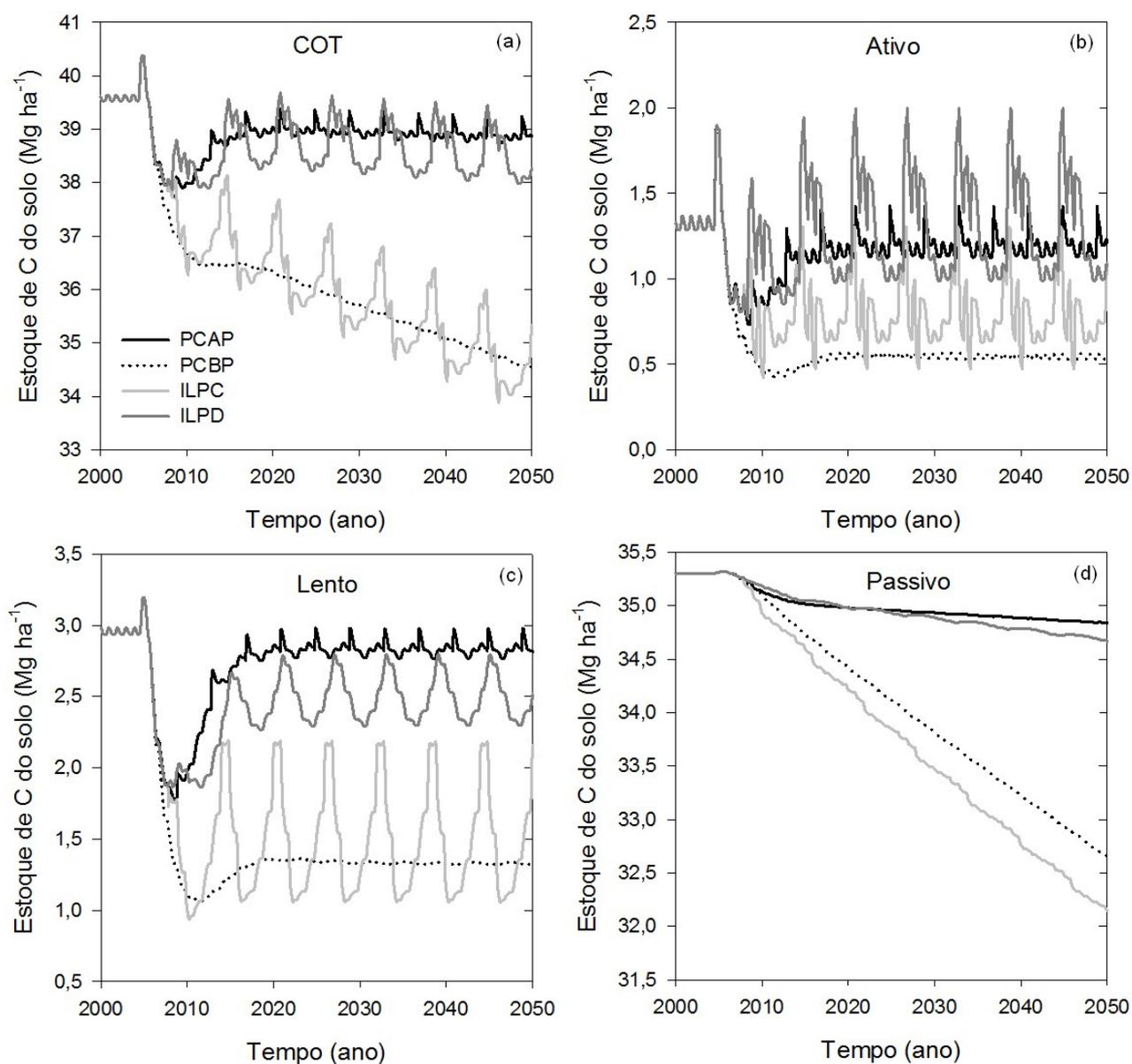
Imediatamente após a remoção do cerrado para implantação dos sistemas cultivados, ocorre aumento dos estoques de C simulados para os compartimentos ativo e lento (Figura 6). Nesse momento, o compartimento ativo sofre elevação de aproximadamente 0,50 Mg C ha<sup>-1</sup> e o compartimento lento, de aproximadamente 0,25 Mg C ha<sup>-1</sup>. Porém, seis meses após a remoção do cerrado, os estoques retornam a valores próximos aos originais encontrados sob condições nativas. Tanto o aumento imediato dos estoques quanto a queda sequencial, verificados após a remoção do cerrado, refletem o comportamento apenas dos compartimentos ativo e lento, uma vez que o C passivo não apresentou nenhuma modificação durante o evento de transição (Figura 6 d).

Seis meses após a conversão, após estoques de C retornarem a valores próximos aos originais sob condições naturais, observa-se então redução dos estoques nos compartimentos ativo e lento. Em todos os quatro cenários simulados, essa redução nos estoques se mantém durante os cinco primeiros anos dos novos sistemas de produção. Após esses cinco anos, os estoques ativo e lento voltam a incorporar C. Após os 15 anos iniciais, os compartimentos ativo e lento passam a variar de forma cíclica, com seus valores mínimos e máximos se repetindo até o final das simulações (Figura 6).

#### *8.2.4 Compartimentos ativo, lento e passivo ao longo dos 45 anos de simulação*

Assim como acontece nos primeiros anos após a conversão, também durante os anos que se seguem até o final do período simulado, os compartimentos ativo e lento são os mais afetados pelas variações de curto prazo decorrentes das intervenções associadas às diferentes técnicas de manejo empregadas. Verifica-se que as variações do compartimento ativo em resposta aos eventos de manejo são mais imediatas e tais efeitos têm duração mais rápida em relação às respostas do compartimento lento, cujas variações apresentam certa defasagem em relação aos eventos de manejo e permanecem alteradas por mais tempo.

No entanto, apesar das variações dos compartimentos ativo e lento em função dos eventos de manejo, os valores máximos e mínimos dos compartimentos ativo e lento de um mesmo cenário não se alteram ao longo dos 45 anos de simulação (Figura 6 b e c). Já o compartimento passivo, apesar de não responder rapidamente aos eventos de manejo, sofre queda constante em todos os quatro cenários avaliados ao longo dos 45 anos de simulação. Essa queda é mais acentuada nos cenários de PCBP e ILPC que nos cenários de PCAP e ILPD (Figura 6 d).



**Figura 6.** Carbono orgânico total do solo (a) e compartimentos ativo (b), lento (c) e passivo (d) simulados pelo modelo Century (0-20 cm) para os quatro cenários avaliados sob as condições edafoclimáticas predominantes da região do Cerrado.

### 8.2.5 Estoques finais de COT do solo

Após 45 anos de simulação, nos sistemas manejados, os maiores estoques finais de C do solo (0-20 cm) foram observados nos cenários de ILPD (38,92 Mg/ha) e de PCAP (38,76 Mg/ha) enquanto o estoque final de C no sistema de ILPC foi 35,52

Mg/ha. A pastagem contínua de baixa produtividade foi o cenário avaliado em que ocorreu o menor estoque final de C do solo (34,50 Mg/ha) (Tabela 9).

Subtraindo os estoques finais de cada cenário do estoque original sob condições nativas (39,55 Mg C ha<sup>-1</sup>) obtemos os valores dos débitos de C gerados em cada cenário simulado. A partir do débito de C dividido pelos 45 anos de simulação chegamos à taxa anual de perda para cada cenário. Os maiores débitos após 45 anos de simulação foram verificados nos cenários de PCBP e ILPC, respectivamente com valores de 4,84 e 4,77 Mg C ha<sup>-1</sup>. Para esses dois cenários a taxa anual de perda de C resultante foi de 0,11 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Para os cenários de PCAP e ILPD, foram encontrados débitos de 0,64 e 0,97 Mg C ha<sup>-1</sup>, respectivamente, após os 45 anos de simulação, resultando em taxas de perda de 0,01 e 0,02 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Tabela 9).

**Tabela 9. Estoques finais de C do solo (0-20 cm) após 45 anos de simulação, débitos de C em relação ao estoque de C do solo sob cerrado nativo e taxas anuais de perda de C para os quatro cenários simulados pelo modelo Century para as condições edafoclimáticas predominantes na região do Cerrado.**

<b>Cenário</b>	<b>Estoque final*</b> <b>(Mg C ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Débito</b> <b>(Mg C ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Taxa de perda</b> <b>(Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>)</b>
<b>PCBP</b>	34,71 (34,50 – 34,93)	4,84	0,11
<b>PCAP</b>	38,91 (38,76 – 39,29)	0,64	0,01
<b>ILPC</b>	34,78 (33,91 – 36,02)	4,77	0,11
<b>ILPD</b>	38,58 (38,01 – 39,47)	0,97	0,02

\*Foram considerados os seis últimos anos do período total de 45 anos de simulação. Valores entre parênteses representam os estoques mínimos e máximos.

Apesar de apresentarem estoques finais bastante semelhantes, os cenários de PCAP e ILPD apresentam trajetórias diferentes ao longo dos 45 anos de simulação (Figuras 6 a), de forma que no ILPD a amplitude de variação entre valores mínimos e máximos é maior que a amplitude de oscilação da PCAP (Tabela 9). A mesma comparação pode ser feita entre os cenários de PCBP e ILPC, que apresentam estoques finais bastante semelhantes, porém no cenário de ILPC as oscilações (estoques máximos

e mínimos) apresentam maior amplitude, quando comparado com o cenário de PCBP (Figura 6 e Tabela 9).

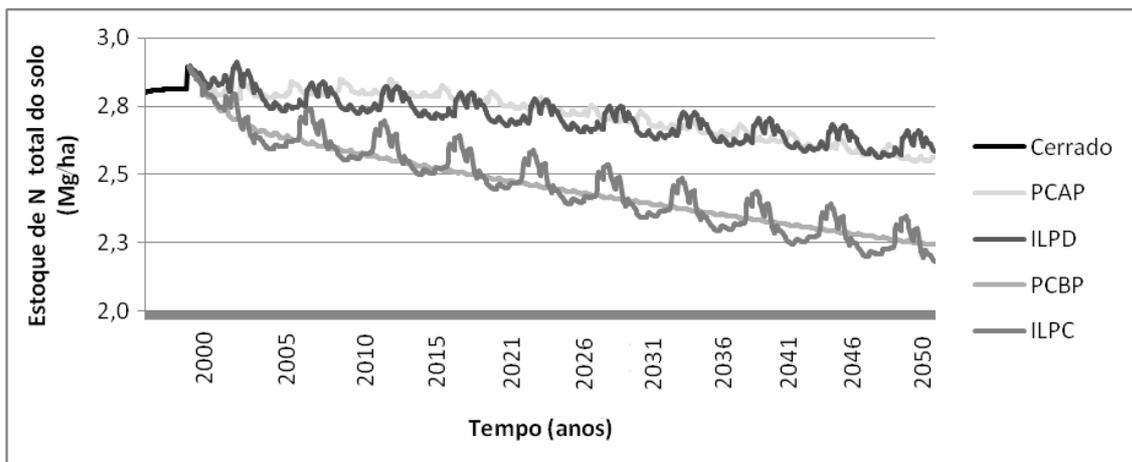
#### 8.2.6 Variações nos estoques de nitrogênio total do solo

Da mesma forma como foi verificado para os estoques de C do solo, todos os cenários simulados apresentaram também redução nos estoques de nitrogênio total do solo ao final do período simulado de 45 anos (Figura 7). Apesar disso, as relações C/N do solo em todos os cenários foram mantidas praticamente iguais à relação C/N simulada para a vegetação nativa de cerrado. Em todos os cenários simulados, bem como na simulação do cerrado nativo, foram obtidos valores de razão C/N = 14.

Esses valores obtidos nas simulações para a razão C/N dos primeiros 20 cm de profundidade do solo estão bem próximos daqueles observados em experimentos de campo apresentados em diversos trabalhos realizados na região do Cerrado (Tabela 10).

**Tabela 10.** Estoques de carbono (C), nitrogênio (N) e razão C/N do solo (0 – 20 cm) apresentados em experimentos de campo conduzidos em Latossolos na região do Cerrado.

	<b>Estoque de C (Mg/ha)</b>	<b>Estoque de N (Mg/ha)</b>	<b>Razão C/N</b>
<b>Freitas et al (2000)</b>			
Cerrado <i>sensu stricto</i>	51,20	3,30	15,51
Pastagem	41,10	2,80	14,68
<b>d'Andrea et al (2004)</b>			
Cerrado <i>sensu stricto</i>	37,80	4,90	7,71
Pastagem	40,60	4,00	10,15
<b>Corbeels et al (2006)</b>			
Cerrado <i>sensu stricto</i>	68,10	3,30	20,63
Pastagem	54,90	2,40	22,87
<b>Marchão et al (2009)</b>			
Cerrado <i>sensu stricto</i>	39,50	2,70	14,63
Pastagem	35,50	3,0	11,83



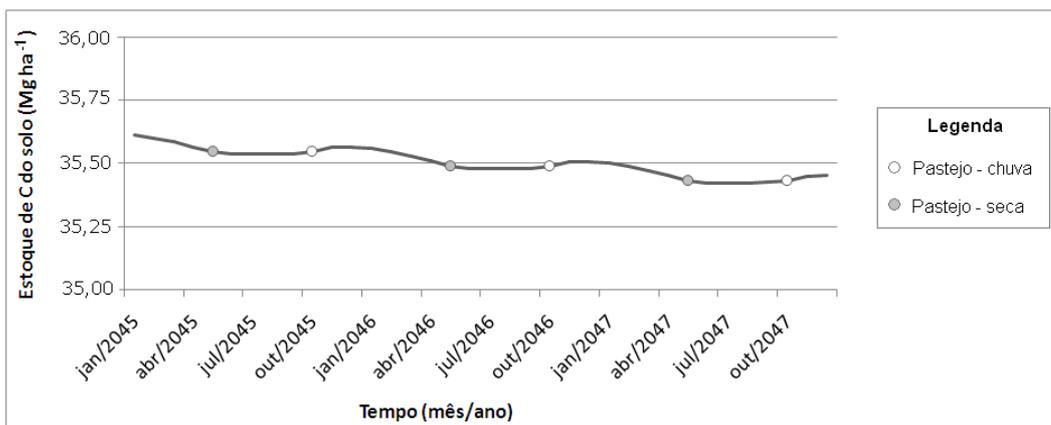
**Figura 7.** Variações no estoque de nitrogênio total do solo (0-20 cm) ao longo dos 45 anos de simulação para os quatro cenários simulados pelo modelo Century para as condições edafoclimáticas predominantes na região do Cerrado. PCBP (pastagem contínua de baixa produtividade), PCAP (pastagem contínua de alta produtividade), ILPC (integração lavoura-pecuária com plantio convencional), ILPD (integração lavoura-pecuária com plantio direto).

#### 8.2.7 Efeitos de curto prazo dos eventos de manejo sobre os estoques de C

Nessa seção a dinâmica de curto prazo considerada não se refere às mudanças dos estoques nos primeiros anos após a conversão, mas sim às mudanças nos estoques que ocorrem imediatamente após cada evento de manejo dentro de um ciclo de aproximadamente cinco anos ao final do período simulado de 45 anos.

##### - Pastagem contínua de baixa produtividade (PCBP)

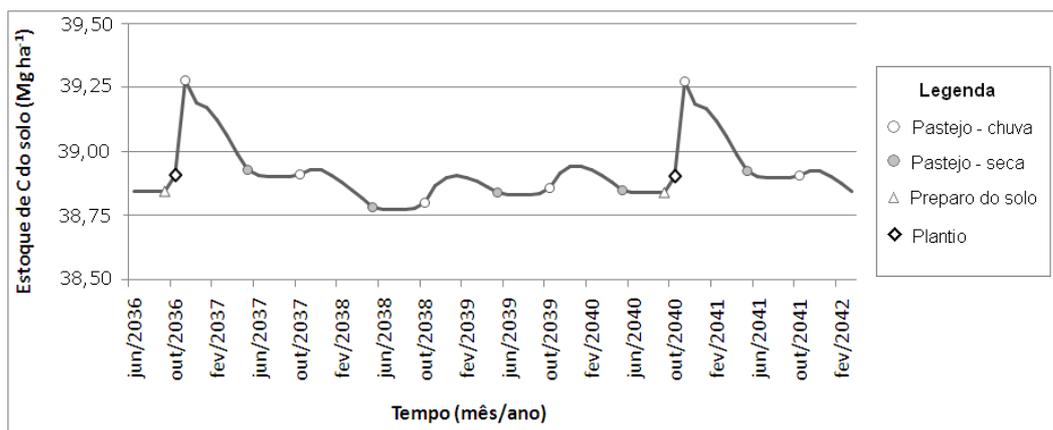
Quando observamos as variações do estoque de C total do solo no cenário de PCBP em um intervalo mais detalhado de apenas dois anos ao final do período de simulação, verifica-se que tais variações estão associadas à alternância dos períodos de chuva e seca típicos da região do Cerrado (Figura 8). A variação do estoque de C do solo entre o início da estação chuvosa e o início da estação seca é de  $0,05 \text{ Mg ha}^{-1}$ , não havendo nesse cenário, ao longo de todo o período simulado, nenhuma oscilação de maior magnitude dentro de um mesmo ano. Verifica-se ainda que os incrementos de C que ocorrem a partir do início de uma estação chuvosa não são suficientes para compensar as perdas da estação anterior, de forma que nesse cenário de PCBP há uma tendência geral de redução do estoque de COT do solo ao longo do tempo (Figura 8).



**Figura 8.** Variações no estoque de C total do solo (0-20 cm) nos anos finais do cenário de pastagem contínua de baixa produtividade simulado pelo modelo Century para as condições edafoclimáticas predominantes na região do Cerrado.

#### **- Pastagem contínua de alta produtividade (PCAP)**

Os estoques de C do solo na pastagem contínua de alta produtividade sofrem oscilações de maior amplitude em relação às observadas no cenário de baixa produtividade. Tais oscilações são decorrentes dos eventos de reforma aos quais a pastagem contínua de alta produtividade é periodicamente submetida. Nos dois meses que se seguem a um evento de reforma verifica-se incremento de 0,43 Mg C ha<sup>-1</sup> no COT do solo. Porém, este incremento é perdido no decorrer dos seis meses seguintes (Figura 9). Durante o intervalo de quatro anos entre os eventos de reforma, a oscilação sazonal do C do solo observado no cenário de PCAP é bastante semelhante à descrita anteriormente para o cenário de PCBP. No entanto, ao contrário do que foi descrito para o cenário de PCBP, na pastagem contínua de alta produtividade as perdas sazonais de C são compensadas mais efetivamente pelos incrementos verificados na estação seguinte, de forma que ao longo dos anos, não há tendência decrescente dos estoques de C no solo de forma tão acentuada como na PCBP (Figura 9).

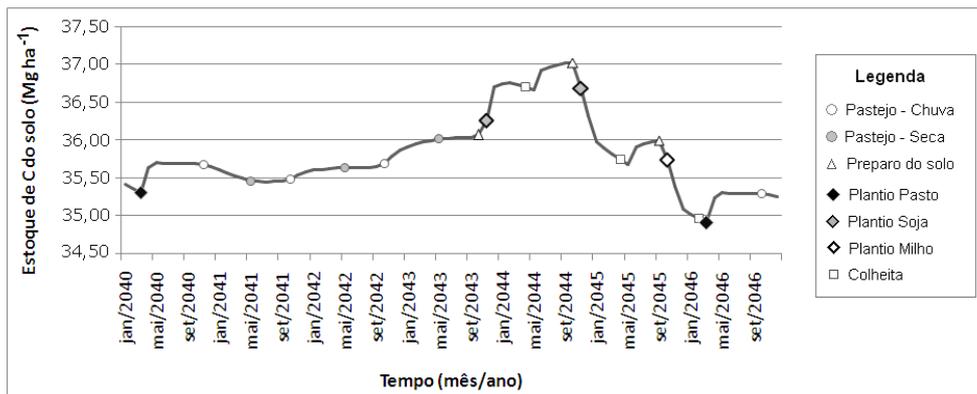


**Figura 9.** Variações no estoque de C total do solo (0-20cm) nos anos finais do cenário de pastagem contínua de alta produtividade simulado pelo modelo Century para as condições edafoclimáticas predominantes da região do Cerrado.

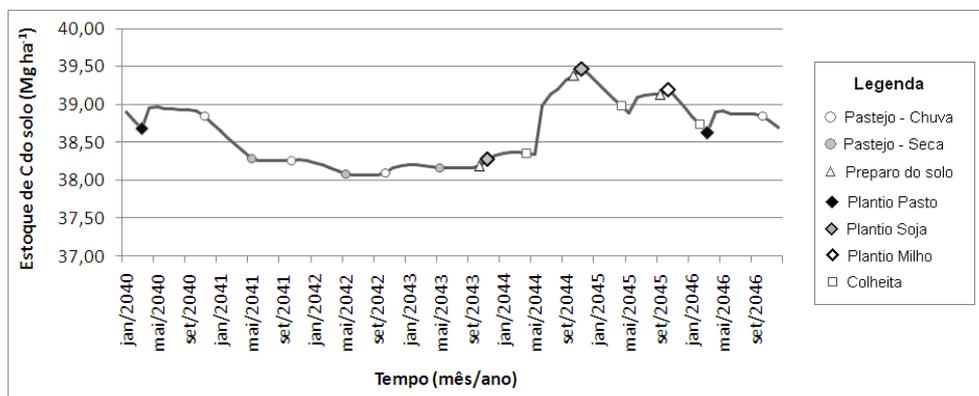
### - Integração lavoura-pecuária: plantio convencional (ILPC) e direto (ILPD)

Ao longo de um ciclo de ILP, o padrão geral da dinâmica sazonal do C do solo durante os três anos de pastagem é bastante semelhante ao descrito para os sistemas de pastagens contínuas. Porém, durante os três anos de pastagem dentro de um ciclo de ILPC observa-se incremento líquido de  $0,77 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , enquanto no ILPD, durante esse mesmo período, verifica-se redução líquida de  $0,49 \text{ Mg C ha}^{-1}$  em relação ao estoque presente ao final do ciclo anterior (Figuras 10 e 11; Tabela 11).

Durante os anos ocupados por culturas anuais, tanto no ILPC quanto no ILPD ocorre um padrão geral de incremento dos estoques nos períodos de pousio (intervalo entre as culturas) e redução dos estoques nos períodos de crescimento das culturas. A única exceção a esse padrão geral ocorre durante o crescimento vegetal do primeiro ano de soja, em que ocorre incremento de  $0,63 \text{ Mg C ha}^{-1}$  no ILPC e de  $0,17 \text{ Mg C ha}^{-1}$  no ILPD. Em todas as etapas posteriores dos ciclos de ILP são observadas reduções dos estoques durante o crescimento das culturas e incremento durante os períodos de pousio. No sistema de ILPC, as reduções dos estoques verificadas durante o crescimento vegetal do segundo ano de soja e do milho somadas resultam em perda de  $2,29 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . No sistema de ILPD as perdas somadas desses mesmos períodos resultam em redução de  $0,80 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . O balanço entre todas as perdas e incrementos verificadas ao longo dos seis anos de um ciclo completo de ILPC resulta em redução líquida de  $0,33 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , enquanto no ILPD, um ciclo completo resulta num incremento líquido de  $0,05 \text{ Mg C ha}^{-1}$  (Figuras 10 e 11; Tabela 11).



**Figura 10.** Variações no estoque de C total do solo (0-20 cm) nos anos finais do cenário de integração lavoura-pecuária com plantio convencional (ILPC) simulado pelo modelo Century para as condições edafoclimáticas predominantes na região do Cerrado.



**Figura 11.** Variações no estoque de C total do solo (0-20 cm) nos anos finais do cenário de integração lavoura-pecuária com plantio direto (ILPD) simulado pelo modelo Century para as condições edafoclimáticas predominantes na região do Cerrado.

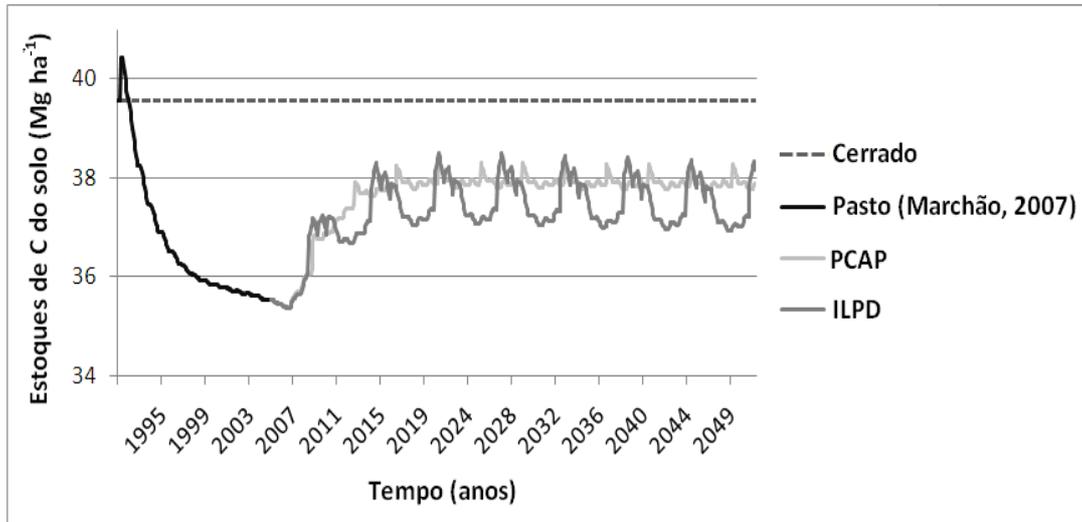
**Tabela 11.** Comparação das variações nos estoques de carbono total do solo (Mg/ha) entre os cenários de ILPC e ILPD após cada evento de manejo que ocorre durante um ciclo completo dos sistemas de integração lavoura-pecuária simulados pelo modelo Century para as condições edafoclimáticas predominantes da região do Cerrado.

<b>Evento (Período)</b>	<b>ILPC</b>	<b>ILPD</b>
<b>Pastagem – Plantio Soja 1</b> (Crescimento pastagem - 3 anos)	+0,77	-0,49
<b>Plantio Soja 1 – Colheita</b> (Crescimento Soja 1 - 4 meses)	+0,63	+0,17
<b>Colheita Soja 1 – Plantio Soja 2</b> (Pousio - 6 meses)	+0,31	+1,02
<b>Plantio Soja 2 – Colheita</b> (Crescimento Soja 2 - 4 meses)	-1,26	-0,40
<b>Colheita Soja 2 – Plantio Milho</b> (Pousio - 5 meses)	+0,25	+0,15
<b>Plantio Milho – Colheita</b> (Crescimento Milho - 4 meses)	-1,03	-0,40
<b>Balanco Final</b> (1 ciclo completo de ILP - 6 anos)	<b>-0,33</b>	<b>+0,05</b>

## 8.2.8 Recuperação da pastagem de baixa produtividade

Na situação de conversão direta do cerrado para PCAP e ILPD, houve manutenção dos estoques de C próximos aos observados sob condições nativas ainda que com perda em longo prazo. Os sistemas de PCAP e ILPD também resultaram em recuperação dos estoques de C no solo (0-20 cm) de um sistema cultivado por 13 anos com pastagem contínua de baixa produtividade (Figura 12). As condições da pastagem contínua de 13 anos avaliada nessa simulação de recuperação são as mesmas utilizadas na etapa de validação do modelo, cuja parametrização buscou simular a pastagem de baixa produtividade observada no experimento de campo descrito por Marchão (2007).

A modelagem dos cenários de PCAP e ILPD partindo dessa pastagem de 13 anos de baixa produtividade indicou que cerca de 20 anos após o início da implantação dos novos sistemas de manejo, os estoques de C do solo (0-20 cm) se estabilizaram em valores próximos daqueles obtidos nas simulações de conversão direta a partir das condições nativas ( $\sim 38,0 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ). Esse incremento representa um seqüestro líquido de aproximadamente  $2,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$  em 20 anos e, portanto, uma taxa de seqüestro de  $0,12 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .



**Figura 12.** Estoques totais de C do solo (0-20 cm) após recuperação de pastagem de baixa produtividade com sistemas de pastagem contínua de alta produtividade (PCAP) e integração lavoura-pecuária com plantio direto (ILPD) simulados pelo modelo Century para as condições edafoclimáticas predominantes na região do Cerrado.

## 9. Discussão

### 9.1 Estoques de C no solo na transição cerrado nativo para sistemas antrópicos

Na maior parte dos ecossistemas terrestres a principal fonte de entrada de C no solo deriva da biomassa vegetal depositada na superfície do solo como serapilheira. Além dos resíduos vegetais derivados da serapilheira, para as condições ecológicas específicas do Cerrado (sazonalidade hídrica acentuada e solos distróficos), o material orgânico oriundo do investimento em biomassa radicular é particularmente importante. A produtividade primária do sistema vegetal que cobre o solo é um dos principais fatores determinantes do estoque de C do solo. Sob sistemas nativos tem sido amplamente verificado um estado de equilíbrio entre a quantidade de C que é incorporada ao solo a partir dos resíduos vegetais e a quantidade de C que deixa o solo na forma de CO<sub>2</sub> derivado da respiração de raízes e dos organismos decompositores (Schlesinger, 1984). Porém, quando a vegetação nativa é substituída por espécies cultivadas, esse equilíbrio é perturbado podendo resultar em incremento ou perda de C do solo, dependendo de quatro fatores gerais: (1) da produtividade primária do novo sistema, (2) da qualidade nutricional do novo material vegetal e (3) da influência das

técnicas de manejo sobre a estrutura física e química do solo (4) da exportação de biomassa do sistema pela atividade de pastejo e pela colheita dos grãos, no caso de sistemas antrópicos. Portanto, as diminuições dos estoques de C verificadas em todos os cenários simulados podem ser explicadas, em geral, por esses fatores.

Imediatamente após a remoção do cerrado para implantação dos sistemas cultivados, os estoques de C simulados para os compartimentos ativo e lento aumentaram (Figura 6). Esse comportamento é comum (Stevenson, 1994), pois com a derrubada da vegetação nativa, só é retirado material vegetal de maior diâmetro, permanecendo no campo parte dos resíduos de galhos finos, folhas e serapilheira depositada na superfície, além de toda a biomassa remanescente das raízes. Todo esse material vegetal é incorporado ao solo no momento do preparo para a implementação da pastagem cultivada. Porém nos meses seguintes os estoques voltam a diminuir (Figura 6), devido ao efeito da decomposição desse material que é acelerado pelo efeito prolongado do revolvimento do solo, se estendendo por cerca de dois meses após o preparo do solo. Tanto o aumento imediato dos estoques quanto a queda seqüencial, que ocorrem após a remoção do cerrado, refletem o comportamento dos compartimentos mais ativo e lento (Figura 6 b e c), uma vez que o C passivo não apresentou a mesma tendência (Figura 6 d). Esse mesmo padrão de resposta dos compartimentos de C do solo após o evento de conversão do cerrado nativo para pastagem cultivada foi descrito por Wendling (2007) em seu trabalho com modelagens de estoques de C na região do cerrado.

## **9.2 Estoques de C nos compartimentos ativo, lento e passivo ao longo de 45 anos de simulação com pastagens ou sistemas integração lavoura-pecuária**

Os resultados das simulações mostram que os compartimentos ativo e lento, além de serem os mais alterados durante a transição do ecossistema nativo para os sistemas antrópicos, são também mais responsivos às variações de curto prazo decorrentes das intervenções de manejo que ocorrem ao longo de todo o período simulado. Verifica-se que as variações do compartimento ativo em resposta aos eventos de manejo são mais imediatas e têm duração mais curta em relação às respostas do compartimento lento, cujas variações apresentam certa defasagem em relação aos eventos de manejo e permanecem alteradas por mais tempo após cada intervenção

(Figura 6 b e c). No entanto, em longo prazo, o compartimento passivo é o principal responsável pelas diferenças nos estoques de C total do solo entre os quatro cenários avaliados após 45 anos (Figura 6 d).

As oscilações maiores verificadas nos compartimentos ativo e lento decorrem do fato de que o modelo Century considera que o compartimento passivo é o único que não recebe entradas diretas dos compartimentos estruturais e metabólicos da superfície ou do solo. Ou seja, para ser incorporado ao compartimento passivo o C derivado da biomassa vegetal deve necessariamente passar primeiro pelo compartimento ativo ou lento. Dessa forma, as variações na biomassa vegetal ocasionadas pelos eventos de manejo são refletidas primariamente sobre os compartimentos ativo e lento sob taxas de decomposição bem maiores que aquelas que alimentam o compartimento passivo, que não responde diretamente às variações da biomassa vegetal, mas sim, indireta e lentamente às variações dos compartimentos ativo e lento. Além disso, o compartimento passivo só apresenta duas vias de saída de C (transfere C somente para o compartimento ativo e para atmosfera), enquanto os compartimentos ativo e lento apresentam até quatro vias possíveis de perda de C (transferem C para o passivo, para o lixiviado e para a atmosfera, além de trocarem C entre si). Além disso, as vias de saída de C do compartimento passivo decorrem sob taxas de decomposição cerca de 1000 vezes menores que aquelas referentes aos fluxos de C dos compartimentos ativo e lento para outros compartimentos (Figura 3).

Alguns estudos de campo na região do Cerrado avaliaram os efeitos do uso do solo sobre as diferentes frações de C do solo e relataram resultados semelhantes aqueles simulados no presente trabalho. Freixo et al (2002) e Metay et al (2007) relataram que as alterações decorrentes de diferentes usos do solo têm efeitos mais intensos sobre as frações mais leves de C do solo, que correspondem às frações ativa e lenta do modelo Century. No entanto, esses dois estudos utilizaram um intervalo de tempo de apenas cinco anos entre as primeiras e as últimas análises do C do solo e, portanto, nenhum dos dois chegou a verificar variações significativas nas frações mais pesadas de C do solo. Já o estudo de Roscoe & Buurman (2003) avaliou as alterações em diferentes frações de C do solo após cerca de 30 anos de conversão do cerrado nativo para áreas cultivadas. De acordo com esses autores, as frações mais leves são mais sensíveis às mudanças de manejo e foram significativamente reduzidas após a conversão de cerrado nativo em

áreas cultivadas. Apesar disso, a dinâmica do C nos solos estudados foi controlada pelo comportamento da fração pesada (compartimento passivo), pois 95% do C do solo encontram-se nessa fração (Roscoe & Buurman, 2003).

### 9.3 Comparações entre os cenários

#### *Cerrado nativo x pastagens contínuas*

A redução dos estoques de C simulados nas pastagens contínuas em relação ao solo sob vegetação nativa é decorrente das diferenças de produtividade vegetal, da qualidade do material vegetal, da exportação de C acumulado na biomassa animal (gado) e dos efeitos dos eventos de renovação na PCAP sobre a estrutura física e química do solo.

Apesar da produtividade primária líquida (PPL) ser maior na PCAP quando comparada com a PPL do cerrado nativo, o valor das entradas de C para o solo é maior no cerrado (Tabela 7). Para as simulações do presente trabalho foram obtidos valores de entrada de C de 2,35 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para o cerrado nativo, e de 1,92 e 0,86 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para os cenários de PCAP e PCBP, respectivamente. Portanto, essa redução da entrada de C para o solo é um dos principais fatores responsáveis pela redução dos estoques de C do solo nos cenários de pastagens contínuas, quando comparados com os estoques sob condições nativas.

Mesmo com maior produtividade vegetal, é possível que o cenário de PCAP apresente menor entrada de C para o solo devido às saídas de C exportado desse sistema por meio do pastejo animal. Para as pastagens cultivadas em todos os cenários simulados, foram atribuídas duas intensidades de pastejo diferentes correspondentes às duas estações do ano característica do Cerrado. Na estação chuvosa, o modelo foi parametrizado para sofrer remoção de 20% da biomassa aérea da pastagem a cada mês. Na estação seca, essa remoção cai para 5% da biomassa aérea da pastagem a cada mês. No caso dos sistemas nativos de cerrado, independentemente da intensidade da herbivoria, o C incorporado à biomassa animal não é exportado do sistema como acontece nos sistemas de pecuária de corte e, portanto, permanece disponível pra ser incorporado ao solo no momento da morte do animal. Portanto, a remoção, o acúmulo e a exportação de C na

biomassa animal podem ser os principais fatores responsáveis pela redução nas entradas de C para o solo nos sistemas de pastagens contínuas. Vários trabalhos também verificaram redução dos estoques de C do solo nas pastagens cultivadas em relação aos estoques sob condições nativas (Freitas, 2000; Corbeels et al, 2006; Siqueira Neto, 2006; Frazão, 2007; Marchão et al, 2009). No entanto, nenhum desses trabalhos verificou a PPL dos sistemas avaliados ou a remoção de biomassa pelo pastejo/herbivoria para possíveis comparações.

Durante a etapa de caracterização das espécies vegetais utilizadas nas simulações, a vegetação de cerrado recebeu valores mais altos para razão C/N em relação aos valores atribuídos às gramíneas utilizadas nas pastagens. As gramíneas utilizadas nas pastagens contínuas receberam valor máximo de razão C/N igual a 60, enquanto para o cerrado nativo, fazendo uma média ponderada entre os valores atribuídos aos diversos compartimentos de biomassa vegetal, encontramos uma razão C/N de 240 (Anexo A). Ou seja, o material vegetal oriundo das pastagens cultivadas, quando comparado com o material vegetal oriundo do cerrado, apresenta maior qualidade nutricional. Consequentemente, os resíduos vegetais das pastagens cultivadas são decompostos mais prontamente, resultando em menor tempo de renovação. A decomposição da serapilheira em ecossistemas de cerrado é relativamente mais lenta. Resende (2001) e Aduan (2003) relataram uma meia vida de 951 dias e 990 dias, respectivamente, para decomposição de serapilheira foliar de áreas de cerrado *sensu stricto*. Já no experimento conduzido por Urquiaga et al. (1998), foram encontrados valores de meia vida de apenas 91 dias para serapilheira proveniente de *Brachiaria decumbens*. Com menor tempo de renovação, o material vegetal proveniente de pastagens cultivadas é mais rapidamente incorporado ao solo, pois o processo de humificação é mais rápido; por outro lado, em todas as transformações que geram fluxos de C entre os compartimentos do solo, a maior parte desse fluxo é transferido para a atmosfera na forma de CO<sub>2</sub> derivado da respiração dos microrganismos decompositores. Por isso, resíduos vegetais com relação C/N mais estreita, apesar de sofrerem humificação mais rápido, geram também maior emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Já o material vegetal advindo do cerrado, possui maior teor de lignina, celulose e outros compostos estruturais mais resistentes à decomposição. Assim, os resíduos oriundos da vegetação do cerrado, apesar de serem incorporados ao solo mais lentamente, geram menos emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

### *Pastagens contínuas: baixa produtividade x alta produtividade*

A diferença nos estoques de C observados entre os dois cenários de pastagem contínua podem ser primariamente explicados pela diferença de produção de biomassa vegetal entre os dois sistemas, bem como pelos efeitos dos eventos de reformas periódicas a que foram submetidas as pastagens contínuas de alta produtividade (PCAP).

Em ambos os cenários de pastagem contínua a qualidade do material vegetal é sempre a mesma ao longo dos 45 anos de simulação. Além disso, os dois cenários foram submetidos às mesmas variações de pressão de pastejo durante todo o período simulado. O único parâmetro que diferencia as espécies de gramíneas utilizadas nos dois sistemas é a produção potencial. Os diferentes valores atribuídos a esse parâmetro fizeram com que a PCBP chegasse a uma produção de biomassa de 6 Mg ha<sup>-1</sup>, enquanto a PCAP apresenta produção de 12 Mg ha<sup>-1</sup>. Outro fator importante que diferencia os dois cenários de pastagem contínua é a ocorrência de eventos de reforma periódica no cenário de PCAP. Tais reformas foram incorporadas ao modelo com o objetivo de simular uma das estratégias indicada aos produtores de gado para evitar a queda gradativa de produtividade geralmente observada em sistemas de pastagens contínuas (Macedo, 1999).

Os diferentes potenciais de produção vegetal designados para os dois cenários de pastagem contínua (PCBP e PCAP) está refletido nos valores obtidos de PPL e, conseqüentemente, nos valores de entrada de C para o solo nesses dois cenários (Tabela 7). Os valores simulados de PPL apresentam média de 1,14 e 2,54 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente para o cenário de PCBP e PCAP, ao longo dos 45 anos de simulação, enquanto os valores de entrada de C no solo foram 0,86 e 1,92 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Portanto, essas diferenças na PPL e na entrada de C para o solo são os principais fatores responsáveis pelas perdas menos intensas nos estoques de C do solo verificadas no cenário de PCAP, quando comparadas com as perdas de maior magnitude observadas no cenário de PCBP. Silva et al (2004) compararam em experimentos de campo os estoques de C de pastagens com diferentes níveis de produtividade e também verificaram que os maiores estoques são observados nas pastagens mais produtivas.

O estoque de C do solo nos compartimentos ativo e lento no cenário de PCBP sofreu menos oscilações quando comparado aos demais cenários. Nesse cenário, a variação do estoque de C do solo entre início da estação chuvosa e o início da estação seca é de apenas  $0,05 \text{ Mg ha}^{-1}$ , não havendo, ao longo de todo o período simulado, nenhuma oscilação de maior magnitude dentro de um mesmo ano. Isso se deve ao fato de não haver eventos periódicos de manejo nesse sistema. As pequenas oscilações observadas são decorrentes de três fatores principais: (1) a influência da variação sazonal sobre a produtividade de biomassa, (2) a alternância de pressão de pastejo associada às mudanças sazonais e (3) a influência das variações sazonais sobre a atividade dos organismos decompositores do solo. No início da estação chuvosa há um incremento do estoque de C do solo, seguido por uma queda ao final dessa estação. Varella et al (2004) verificaram que a atividade dos microrganismos, tanto em ecossistemas de cerrado quanto em pastagens cultivadas, aumenta no início da época chuvosa e diminui do meio para o fim dessa estação. Isso porque o aumento da umidade influencia positivamente o processo de decomposição até certo ponto a partir do qual uma maior saturação dos poros do solo dificulta a difusão do  $\text{O}_2$  e  $\text{CO}_2$ , reduzindo a respiração aeróbica dos microrganismos. Porém, o aumento na atividade dos microrganismos decompositores pode ter dois efeitos sobre o estoque de C do solo: por um lado a respiração dos decompositores emite  $\text{CO}_2$  para a atmosfera (diminuindo o estoque de C do solo), mas por outro lado, a decomposição da matéria orgânica pode transferir C para compartimentos mais recalcitrantes (aumentando o estoque de C do solo). Portanto, no início das chuvas, como os estoques nos compartimentos ativo e lento estão aumentando, infere-se que as entradas de C para os compartimentos do solo sejam maiores que as saídas de C para a atmosfera. O contrário acontece na segunda metade da estação chuvosa, quando os estoques de C do solo diminuem. Já no período da seca, observamos estabilização do estoque que vinha sendo reduzido ao final da estação chuvosa. Essa mudança de padrão verificada a partir do início da estação seca se deve, em parte, à mudança da atividade dos microrganismos com a redução da umidade do solo (Varella et al, 2004), bem como à diminuição da pressão de pastejo designada para os meses de seca.

No cenário de PCAP ocorrem maiores variações no estoque de C do solo em função das reformas periódicas (Figura 8). Nos dois meses que se seguem ao evento de reforma da pastagem há incremento no estoque de C do solo de  $0,43 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Esse in-

cremento no estoque de C do solo é causado principalmente por três motivos: (1) a incorporação da biomassa da pastagem precedente que ocorre no momento do preparo do solo, e (2) o crescimento da biomassa aérea e radicular das novas plantas semeadas no momento da reforma e (3) o início da estação chuvosa que coincide com o evento de reforma e aumenta a atividade dos microrganismos decompositores. A partir do segundo mês após o evento de reforma, o incremento verificado começa a regredir, sendo plenamente compensado ao final de oito meses após a reforma. Essa redução é causada, em parte, pelo efeito prolongado do arado sobre os agregados do solo que protegem a matéria orgânica. Além disso, essa queda dos estoques coincide com a segunda metade da estação chuvosa, quando é provável que a atividade dos microrganismos fique reduzida pelo excesso de água no solo.

#### *Cerrado nativo x Integração lavoura-pecuária*

Apesar da produtividade primária líquida (PPL) ser maior nos cenários de ILP quando comparada com a PPL do cerrado nativo, o valor das entradas de C para o solo é maior no cerrado (Tabela 7). Para as simulações do presente trabalho foram obtidos valores de entrada de C de 2,35 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para o cerrado nativo, 1,79 e 2,00 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para os cenários de ILPC e ILPD, respectivamente. Portanto, a redução na entrada de C para o solo é um dos principais fatores responsáveis pela redução dos estoques de C do solo nos cenários de ILP, quando comparados com os estoques sob condições nativas. Marchão et al (2009) também relatou redução dos estoques de C do solo sob sistema de ILP quando comparado com os estoques sob condições nativas (redução de 4,0 Mg C ha<sup>-1</sup> em 13 anos).

No caso dos sistemas de ILP simulados, além dos fatores considerados para as pastagens contínuas, deve-se considerar ainda o efeito dos eventos de manejo mais frequentes e mais diversificados, além da maior variedade de espécies cultivadas.

O efeito da qualidade do material vegetal da pastagem discutido anteriormente aplica-se para a qualidade dos resíduos derivados da soja e do milho. Assim como para as gramíneas utilizadas nas pastagens, os parâmetros utilizados para caracterizar a soja e o milho também receberam valores menores de razão C/N quando comparados aos resíduos vegetais do cerrado nativo. A soja, devido a suas interações simbióticas com mi-

crorganismos fixadores de N, apresenta os menores valores ( $C/N_{\text{soja}} = 40$ ), o milho apresenta valores intermediários ( $C/N_{\text{milho}} = 125$ ), e a vegetação nativa de cerrado, os valores mais elevados ( $C/N_{\text{cerrado}} = 242$ ). Portanto, a palhada remanescente dessas culturas sofre decomposição rápida, de curto tempo de renovação, sendo facilmente incorporada à biomassa microbiana com emissão de C para a atmosfera na forma de  $CO_2$  derivado da respiração dos organismos decompositores.

Assim como nas pastagens contínuas, nos sistemas de ILP parte do C estocado na biomassa das espécies forrageiras é removido do sistema durante o pastejo. Dentro de um ciclo de ILP, nos três anos cultivados com pastagem a intensidade de pastejo é a mesma designada para as pastagens contínuas. Porém, no sistema de ILP a remoção de biomassa pelo pastejo não ocorre continuamente ao longo dos 45 anos de simulação devido aos períodos intercalados de cultivo de soja e milho. Ao longo dos períodos de cultivo de soja e milho, parte do C acumulado na biomassa viva é exportado do sistema durante os eventos de colheita dos grãos. As espécies anuais cultivadas foram parametrizadas de forma a alcançar um índice de colheita de 50%, ou seja, metade da biomassa da parte aérea no momento da colheita corresponde à biomassa armazenada nos grãos. Portanto, a remoção, o acúmulo e a exportação de C armazenado na biomassa animal, somado ao C exportado do sistema durante a colheita dos grãos são responsáveis por parte das perdas observadas nos estoques de C do solo em relação aos ecossistemas nativos. É importante destacar que nas simulações do presente estudo o cerrado nativo não sofreu queimadas e que queimadas frequentes em áreas de Cerrado, apesar de não afetarem diretamente o C do solo, geralmente implicam em perdas de C e nutrientes da biomassa acima do solo, diminuindo as fontes de entrada de C para os estoques do solo (Castro & Kauffman, 1998).

Durante os anos de culturas anuais, são observados incrementos dos estoques nos períodos de pousio (intervalo entre as culturas), e perdas no estoque de C nos períodos de crescimento das culturas (Figuras 9 e 10). Durante os períodos de pousio, apesar de não haver produção de biomassa nova, há grande quantidade de C sendo transferida da biomassa morta dos resíduos vegetais remanescentes após a colheita para o estoque de C do solo. Freixo et al (2002) avaliaram os efeitos de diferentes estratégias de manejo sobre os estoques de C do solo e verificaram que o sistema de rotação de culturas

com pousio mostrou-se mais eficaz em aumentar a disponibilidade de matéria orgânica do solo, pois entre todos os sistemas avaliados por esses autores, o sistema de rotação que envolveu pousio resultou nos maiores teores de C nas frações leves livres e intra-agregados. Os demais trabalhos publicados que avaliam os estoques de C sob culturas anuais realizam as medidas de campo comumente apenas no início e ao final do experimento, que geralmente leva de cinco a dez anos. Nenhum desses trabalhos publicados traz informações sobre a dinâmica do C em curto prazo nesses sistemas. Vários desses trabalhos observaram, assim como no presente estudo, que os sistemas de integração lavoura-pecuária, tanto em plantio convencional como em plantio direto, não são capazes de sustentar os estoques de C do solo observados sob vegetação nativa de cerrado (Salton, 2005; Corbeels et al, 2006; Jantalia et al, 2007; Dieckow et al. 2009). Por outro lado, o estudo descrito em Bayer et al (2006) apresentou resultados contrários aos verificados no presente estudo, com os sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, tanto em plantio convencional quanto em plantio direto, apresentando incremento em relação aos estoques sob cerrado nativo.

#### *Integração lavoura pecuária: Plantio Convencional x Plantio Direto*

Entre os sistemas de ILP, não há diferenças na produção de biomassa e na qualidade do material vegetal. Entre esses dois cenários, a estratégia de manejo, especificamente a técnica de cultivo (plantio convencional e direto), é o único fator diferencial determinando as diferenças nos estoques de C do solo.

Como não foram atribuídos valores diferentes para o potencial de produtividade de biomassa vegetal entre os arquivos utilizados nos dois cenários de ILP, os valores simulados de PPL foram bastante semelhantes nos dois cenários de ILP, com média de 2,60 e 2,61 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, respectivamente para os cenários de ILPC e ILPD. Apesar disso, devido às diferentes técnicas de manejo designadas para esses dois cenários, os valores de entrada de C para o solo foram maiores para o cenário de ILPD (2,00 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), quando comparado com o valor simulado para o cenário de ILPC (1,79 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). Portanto, essa redução nas entradas de C para o solo é um dos fatores responsáveis pelas perdas mais intensas nos estoques de C do solo verificadas no cenário de ILPC (taxa de 0,11 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), quando comparadas com as perdas de menor magnitude observadas no cenário de ILPD (taxa de 0,02 Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>).

No ILPC, durante os três anos de pastagem ocorre um incremento líquido de  $0,77 \text{ Mg C ha}^{-1}$  em relação ao estoque presente ao final do ciclo anterior. No ILPD ocorre perda líquida de  $0,49 \text{ Mg C ha}^{-1}$  durante esse mesmo período. Essa diferença nas respostas entre os dois sistemas de ILP pode ser explicada pelo estoque de C do solo presente no início dos três anos de pastagem em cada ciclo de ILP, pois no ILPC, a perda de C observada durante as culturas anuais que precedem os três anos de pastagem deixa o estoque total (0-20 cm) em  $35,30 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . Esse valor está bem abaixo do potencial de armazenamento de carbono observado sob condições nativas ( $39,55 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ). Já no ILPD, durante o período cultivado com espécies anuais é verificado incremento de C e, por isso, no momento da introdução dos três anos de pastagem, o estoque de  $38,68 \text{ Mg C ha}^{-1}$  se encontra bem próximo daquele observado sob condições nativas, no qual é bastante provável que a maior parte dos sítios de ligação disponíveis dos argilominerais do solo já estejam ocupados em interações químicas com a matéria orgânica. Nessas condições, o solo se encontra próximo da sua capacidade máxima de armazenamento de C, não sendo mais possível incremento posterior nos estoques, mesmo que haja deposição abundante de matéria orgânica sobre o solo. Alguns estudos de campo já relataram tal estabilização do estoque de C do solo em resposta a aumentos nas entradas de matéria orgânica (Campbell et al, 1991; Soon, 1998).

Em ambos os cenários de ILP, durante os anos ocupados por culturas anuais ocorre incremento dos estoques nos períodos de pousio e redução dos estoques nos períodos de crescimento das culturas. A única exceção a esse padrão geral ocorre durante o crescimento vegetal do primeiro ano de soja quando a biomassa viva da pastagem precedente é totalmente transferida para o solo ou para a serapilheira no momento do cultivo. O incremento no estoque de C do solo observado durante o crescimento do primeiro ano de soja deriva dessa biomassa viva da pastagem transferida para o solo ou para a serapilheira no momento do cultivo. No ILPC esse incremento é maior que o incremento verificado no ILPD ( $0,63 \text{ Mg C ha}^{-1}$  no ILPC e  $0,17 \text{ Mg C ha}^{-1}$  no ILPD) pois a parametrização do cenário de ILPC sugere que toda a biomassa morta acima do solo seja transferida diretamente para o solo no momento do cultivo. Já no sistema de ILPD, toda a biomassa morta acima do solo permanece na serapilheira no momento do cultivo e, portanto, a incorporação do C no solo se dá mais lentamente.

Já no segundo ano de soja e no momento do plantio do milho não há biomassa viva a ser incorporada, pois essas culturas sucedem o período de pousio. Portanto, há redução no estoque de C nos meses que se seguem ao cultivo dessas culturas. Além disso, as perdas de C do solo durante os períodos de crescimento das culturas anuais se devem ao fato de que nessas épocas o C fixado na fotossíntese está sendo predominantemente acumulado na biomassa viva das plantas e, portanto, não há deposição de material vegetal morto na superfície do solo para ser incorporado.

As quedas dos estoques observadas nos meses de crescimento vegetal do segundo ano de soja e do cultivo do milho são mais acentuadas no sistema de ILPC (redução de 2,29 Mg C ha<sup>-1</sup>) que no sistema ILPD (redução de 0,80 Mg C ha<sup>-1</sup>). Essa diferença se deve à simulação do efeito do arado sobre a velocidade do processo de decomposição durante o plantio convencional. No sistema de ILPD, a queda dos estoques durante esse período é menos acentuada, pois nesse cenário a ausência do arado de disco conserva a matéria orgânica do solo protegida nos agregados. Corbeels et al (2006) observaram em experimentos de campo que a implantação do plantio direto por 12 anos em uma área anteriormente ocupada durante 25 anos com soja cultivada com plantio convencional em monocultura resultou em recuperação expressiva do estoque de C do solo. Vários estudos que compararam estoques de C sob plantio convencional e direto têm demonstrado essa vantagem do plantio direto para a conservação da matéria orgânica do solo (Corazza et al, 1999; Oliveira et al, 2004; Bayer et al, 2006; Jantalia et al, 2007; Dieckow et al, 2009). Por outro lado, o estudo de Roscoe & Buurman (2003) encontrou estoques de C maiores nos solos sob sistemas de plantio convencional. Da mesma forma, Lilienfein & Wielcke (2003) não verificaram mudanças significativas no conteúdo de C do solo sob plantio convencional por 12 anos na região do Cerrado. Esses estudos sugerem uma alta estabilidade da matéria orgânica nos solos do Cerrado, atribuída aos altos teores de hidróxidos de ferro e alumínio desses solos (Resende et al, 1997). Além disso, alguns estudos indicam que não há perda de C nos sistemas de plantio convencional, mas sim, uma diferença de distribuição do C em diferentes profundidades, com maiores concentrações perto da superfície nos sistemas de plantio direto e, nos sistemas de plantio convencional, maiores concentrações nas camadas mais profundas do perfil do solo (Freitas et al, 2000). Portanto, como a maior parte dos estudos realizados na região do Cerrado avaliou apenas os primeiros 30 cm do solo, permanece em aberto a discussão sobre os

efeitos do plantio direto e convencional em relação aos estoques de C do solo. Baker et al (2007) observaram que, “apesar de haver outras boas razões para o uso do plantio direto, as evidências de que esses sistemas promovem seqüestro de C não são convincentes”. Os sistemas de integração lavoura-pecuária proporcionam vantagens sob diversos aspectos quando comparados com os sistemas de pastagem contínua. Vilela et al (2003) revisaram os principais benefícios dos sistemas de integração lavoura-pecuária e citaram, entre outras vantagens, o aumento na produção de grãos e carne, redução nos custos de produção, melhoramento e conservação das características físicas e químicas do solo e geração de empregos diretos e indiretos. Spain et al (1996) relataram maior eficiência na reciclagem de nutrientes, maior oferta e qualidade das forrageiras na estação seca e maior rentabilidade nos sistema de ILP que em qualquer das atividades isoladas.

#### **9.4 Recuperação da pastagem de baixa produtividade**

Além de serem capazes de manter os estoques de C próximos daqueles observados sob condições nativas após a conversão direta, os sistemas de PCAP e ILPD se mostraram eficientes também em recuperar os estoques de C no solo (0-20 cm) de um sistema cultivado por 13 anos com pastagem contínua de baixa produtividade.

A modelagem dos cenários de PCAP e ILPD partindo dessa pastagem de 13 anos de baixa produtividade proporcionou uma avaliação sobre os impactos potenciais em larga escala da recuperação de áreas de pastagens degradadas na região do Cerrado. Os resultados indicam que cerca de 20 anos após o início da implantação dos novos sistemas de manejo, os estoques de C do solo (0-20 cm), tanto sob sistema de PCAP como sob ILPD, se estabilizaram em valores próximos daqueles obtidos nas simulações de conversão direta a partir das condições nativas ( $\sim 38,0 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ) (Figura 11). Esse incremento representa seqüestro de aproximadamente  $2,5 \text{ Mg C ha}^{-1}$  em 20 anos e, portanto, uma taxa de seqüestro de  $0,12 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Considerando a área estimada de 25 milhões de hectares de pastagens degradadas na região do Cerrado (Oliveira et al., 2004), a recuperação dessas áreas com sistemas de ILPD, por exemplo, implicaria num seqüestro total de  $62,5 \text{ Tg C}$  após 20 anos.

De acordo com estimativas recentes (Bustamante et al., em preparação) entre 2002 e 2008, foram emitidos  $223,4 \text{ Tg C}$  oriundos de desmatamentos na região do Cerrado provocados pela abertura de áreas nativas para implantação de novas pastagens

cultivadas. Esses valores foram obtidos considerando que dos 85.074 km<sup>2</sup> desmatados no cerrado entre 2002 e 2008, 48.000 km<sup>2</sup> (56,4%) foram designados para o estabelecimento de novas pastagens cultivadas. De acordo com os valores obtidos nas simulações do presente trabalho, se essas áreas (48.000 km<sup>2</sup>) fossem mantidas com a cobertura original de cerrado nativo e as novas pastagens fossem estabelecidas com sistema de ILPD em áreas de pastagens degradadas, além de evitar a emissão desses 223,4 Tg C derivados do desmatamento, haveria ainda um seqüestro de cerca de 12,0 Tg C após 20 anos. De acordo com as nossas simulações, um seqüestro de magnitude semelhante seria alcançado também caso a recuperação se desse com sistema de pastagem contínua de alta produtividade. No entanto, como já mencionado, além dos estoques de C do solo, existem diversas vantagens associadas aos sistemas de integração lavoura-pecuária quando comparados com os sistemas de pastagem contínua. Dentre esses benefícios podemos citar o aumento na produção de grãos e carne, redução nos custos de produção, melhoramento e conservação das características físicas e químicas do solo e geração de empregos diretos e indiretos (Vilela et al, 2003). Os sistemas de integração lavoura-pecuária apresentam ainda maior eficiência na reciclagem de nutrientes, maior oferta e qualidade das forrageiras na estação seca e maior rentabilidade tanto quando comparados às pastagens contínuas quanto aos sistemas de produção de grãos em monocultura (Spain et al, 1996).

É importante ressaltar que no presente trabalho os cálculos utilizados nas estimativas de seqüestro de C utilizados no cenário de recuperação de pastagens degradadas não levaram em conta as emissões derivadas da produção e transporte de fertilizantes, nem os equivalentes em C derivados das emissões de outros gases de efeito estufa, como por exemplo o N<sub>2</sub>O. Além disso, o modelo Century considera os efeitos do manejo apenas sobre os primeiros 20 cm do solo. Sabe-se que as vantagens dos sistemas de plantio direto sobre a conservação de matéria orgânica do solo agem predominantemente sobre as camadas mais superficiais do solo (Corbeels et al, 2006), porém, os sistemas radiculares das espécies nativas e cultivadas crescem bem mais profundamente no perfil do solo. Portanto, para estimativas mais refinadas recomenda-se a realização de análises até 1 m de profundidade.

## 10. Conclusões

1. Os resultados das simulações indicam que o modelo Century é satisfatoriamente capaz de representar a dinâmica do C no solo, tanto sob vegetação nativa de cerrado *sensu stricto* como sob sistema de produção agropecuários. Portanto, o modelo Century é uma ferramenta bastante útil na geração de informações ainda não plenamente esclarecidas com experimentos de campo sobre os efeitos de diferentes técnicas de manejo sobre os estoques de C do solo.
2. Pastagens contínuas mesmo quando cultivadas em solos argilosos, com gramíneas de alto potencial produtivo e submetidas a reformas com fertilizações periódicas não são suficientes para manter em longo prazo os estoques originais de C do solo sob vegetação nativa de cerrado sentido restrito.
3. Em longo prazo, o cenário de integração lavoura-pecuária com plantio direto pode apresentar estoques de C do solo equivalentes àqueles encontrados no cenário de pastagem contínua de alta produtividade. Já o cenário de integração lavoura-pecuária com plantio convencional apresenta perdas de C da mesma magnitude das perdas observadas no cenário de pastagem contínua de baixa produtividade.
4. A recuperação de áreas de pastagem contínua de baixa produtividade com sistema de ILPD se mostrou eficaz para repor os estoques de C do solo, alcançando valores próximos daqueles observados sob condições nativas. Portanto, a recuperação de pastagens degradadas com sistemas de integração lavoura-pecuária em plantio direto resulta em seqüestro de C, enquanto o desmatamento de novas áreas para implantação de pastagens cultivadas, além dos prejuízos imediatos para a biodiversidade, resulta também em grande emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

## 11. Recomendações

As conclusões obtidas no presente trabalho representam contribuições valiosas em relação a sua aplicabilidade prática para a difusão e implantação de estratégias de manejo de sistemas bovinícolas na região do Cerrado.

Como os resultados das simulações indicam que todos os sistemas de manejo avaliados resultam em redução dos estoques de C do solo em relação aos estoques originais sob vegetação nativa, a remoção da vegetação nativa para expansão e implantação desses sistemas em novas áreas deve ser vista com extrema cautela, devido ao efeitos dessas conversões sobre os riscos associados às mudanças climáticas. Nossos resultados sugerem claramente que as estratégias de expansão das atividades bovinícolas na região do Cerrado devem ser direcionadas no sentido da recuperação das áreas já estabelecidas com pastagens cultivadas que se encontram em estado de baixa produtividade. Esse sugestão garante não apenas a devida atenção aos efeitos das mudanças climáticas, mas também à conservação da biodiversidade dos ecossistemas de Cerrado e dos serviços ambientais proporcionados por esses ecossistemas naturais, como por exemplo, o armazenamento, a purificação e a ciclagem de água e nutrientes.

Além disso, apesar do cenário de pastagem contínua de alta produtividade (PCAP) ter apresentado estoques finais de C do solo semelhantes aqueles simulados para o cenário de integração lavoura pecuária com plantio direto (ILPD), estudos de campo têm divulgado uma grande variedade de benefícios dos sistemas de integração lavoura pecuária quando comparados com os sistemas de pastagem contínua. Dentre esses benefícios, os mais amplamente citados são: a conservação dos atributos físicos do solo, maior eficiência na reciclagem dos nutrientes, maior produção de grãos e carne com menores custos e maior geração de empregos diretos e indiretos.

## **12. Referências bibliográficas**

- Abdala, G.C. 1993. Análise energética de um cerrado e sua exploração por atividade de carvoejamento rústico. Tese de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- Addiscott, T.; Smith, J.; Bradbury, N. 1995. Critical evaluation of models and their parameters. *J. Environmental Quality*: 24: 803-807.

- Addiscott, T. M. 1993. Simulation modelling and soil behaviour. *Geoderma*. 60:15-40.
- Aduan, R.E. 2003. Respiração de solos e ciclagem de carbono em cerrado nativo e pastagem no Brasil Central. Tese de Doutorado, Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília.
- Alvim, M.J.; Botrel, M.A.; Verneque, R.S.; Salvati, J.A. 1990. Aplicação de nitrogênio em acessos de *Brachiaria*. Efeito sobre a produção de matéria seca. *Pasturas tropicales*, V. 12 n. 2, p.2-6.
- Baker, J.M., Ochsner, T.E., Venterea, R.T., Griffis, T.J., 2007. Tillage and soil carbon sequestration—what do we really know? *Agric. Ecosyst. Environ.* 118, 1–5.
- Bayer, C., Martin-Neto, L., Mielniczuk, J., Pavinato, A. 2004. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesq. Agrop. Brás.* 39:677-683.
- Bayer, C., Martin-Neto, L., Mielniczuk, J., Pavinato, A., Dieckow, J., 2006. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. *Soil Till. Res.* 86, 237–245.
- Bayer, C. and Mielniczuk, J. 1999. Dinâmica e função da material orgânica. In: Santos, G.A and Camargo, F.A.O (Eds.), *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Genesis, Porto Alegre – RS. pp 9-26.
- Bray, J.R. & Gorham, E. 1964. Litter production in forests of the world. *Advances in Ecology Research* 2: 101-157. In: Cianruso, M.V., Pires, J.S.R., Delitti, W.B.C.
- Bremer, J.M. 1965. Organic nitrogen in soils. p. 93–149. *In* W.V. Bartholomew and F.E. Clark (ed.) *Soil nitrogen*. Agron. Monogr. 10. ASA, Madison, WI.

- Bustamante, M.M.C., Corbeels, M., Scopel, E., Roscoe, R. 2006. Soil carbon storage and sequestration potential in the cerrado region of Brazil. In: Carbon Sequestration in Soils of Latin America. The Haworth Press, Inc. pp 285-304.
- Cadavid-Garcia, E.A. 1995. Desenvolvimento econômico sustentável do cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira 30(6): 759-774.
- Campbell, C.A., LaFond, G.P., Zentner, R.P. et al. 1991. Influence of fertilizer and straw baling on soil organic matter in a thin, black Chernozem in western Canada. Soil Biology and Biochemistry, 23, 443-446.
- Carter, M.R., Parton, W.J., Rowland, I.C., Schultz, J.E., Steed, G.R., 1993. Simulation of soil organic carbon and nitrogen changes in cereal and pasture systems of Southern Australia. Aust. J. Soil Res. 31, 481–491.
- Castro, E.A. & Kauffman, J.B 1998. Ecosystem structure in Brazilian cerrado: a vegetation gradient of aboveground, root biomass and consumption by fire. Journal of Tropical Ecology 14:263:283.
- [Cerri, C.E.P.](#), Easter, M., Paustian, K., Killian, K., Coleman, K., Bernoux, M., Falloon, P., Powlson, D.S., Batjes, N.H., Milne, E., Cerri, C.C. 2007. Simulating SOC changes in 11 land use change chronosequences from the Brazilian Amazon with RothC and Century models. Agriculture, Ecosystems and Environment 122: 46-57.
- Christensen, B.T. 2000. Organic matter in soil – structure, function and turnover. DIAS Report No. 30, Plant Production, Tjele.
- Christensen, B.T. 1992. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. Adv. Soil Sci. 20:1–90.

- Corazza, E.J., Silva, J.E., Resck, D.V.S., & Gomes, A.C. 1999. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação a vegetação de cerrado. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* 23: 425-432.
- Corbeels, M; Scopel, E; Cardoso, A; Bernoux, M; Douzet, J.M; Siqueira Neto, M. 2006. Soil carbon storage potencial of direct seeding mulch-based cropping systems in the cerrados of Brazil. *Global Change Biology*. 12: 1773-1787.
- Costa, N.L.C.; Townsend, C.R.; Magalhães, J.A.; Pereira, R.G.A. 2001. Manejo de pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em Rondônia. RT/33, EMBRAPA-CPAF, Rondônia.
- d'Andrea, A.F; Silva, M.L.N; Curi, N; Guilherme, L.R.G. 2004. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesq. Abropec. Bras.* V. 39, n. 2, p. 179-186.
- Dalal, R.C., and R.J. Mayer. 1986. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. II. Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile. *Aust. J. Soil Res.* 24:281–292.
- Dieckow, J., Bayer, C., Conceição, P.C., Zanatta, J.A., Martin-Neto, L., Milori, D.B.M., Salton, J.C., Macedo, M.M., Mielniczuk, J., Hernani, L.C., 2009. Land use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. *Eur. J. Soil Sci.* 60, 240–249.
- Dontsova, K.M., and J.M. Bigham. 2005. Anionic polysaccharide sorption by clay minerals. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:1026–1035.
- Duxbury, J.M.; Smith, M.S. & Doran, J.M. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: Coleman, D.C.; Oades J.M. & Uehara, G., eds. *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu, University of Hawaii, 1989, p.33-67.

- Enríquez, S., C.M. Duarte and K. Sand-Jensen. 1993. Patterns in decomposition rates among photosynthetic organisms: the importance of detritus C:N:P content. *Oecologia* 94:457-471.
- Falloon, P., Smith, P., 2002. Simulating SOC changes in long-term experiments with RothC and Century: model evaluation for a regional scale application. *Soil Use Manage.* 18, 101–111.
- Feller, C., and M.H. Beare. 1997. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma* 79:69–116.
- Feller, C., A. Albrecht, and D. Tessier. 1996. Aggregation and organic matter storage in kaolinitic and smectitic tropical soils. p. 309–359. *In* M.R. Carter and B.A. Stewart (ed.) *Structure and organic matter storage in agricultural soils*. Lewis Publ., Boca Raton, FL.
- Fração, L.A. 2007. Conversão do Cerrado em pastagem e sistemas agrícolas: efeitos na dinâmica da matéria orgânica do solo. Dissertação de Mestrado. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP, Brasil.
- Freitas, P.L; Blancaneaux, P; Gavinelli, E; Larré-Larrouy, M; Feller, C. 2000. Nível e natureza do estoque orgânico de latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Pesq. Agropec. Bras.* v. 35 n.1, p. 157-170.
- Gijsman, A.J., Hoogenboom, G., Parton, W.J., Kerridge, P.C., 2002. Modifying DSSAT for low-input agricultural systems, using a SOM module from CENTURY. *Agron. J.* 94, 462–474.
- Giovannini, G.; Sequi, P. 1976. Iron and aluminum as cementing substrates of soil aggregates. II. Changes in stability of soil aggregates following extractions of iron and aluminum by acetylacetone in a nonpolar solvent. *Journal Soil Science*, v.27, p.148-153.

- Gonzalez, J.V. 2002. Role of clay minerals on soil organic matter stabilization and humification. Ph.D. diss. (Diss. Abstr. 3073447). Iowa State Univ., Ames.
- Greenland, D.J. 1965. Interactions between clay and organic compounds in soils. Part 2. Adsorption of soil organic compounds and its effects on soil properties. *Soil Fertility*, v.28, 415-425.
- Hassink, J. 1997. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant Soil* 191:77–87.
- Hassink, J.; Whitmore, A.P. 1997. A model of the physical protection of organic matter in soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.6, p.131-139.
- Hassink, J.; Bouwman, L. A.; Zwart, K.B. 1993. Relationship between habitable pore space, soil biota and mineralization rates in grassland soils. *Soil Biology Biochemistry* v.25, p.47-55.
- Herzog, R.L.S., Levien, R., Trein, C.R. 2004. Produtividade de soja em semeadura direta influenciada por profundidade do sulcador de adubo e doses de resíduo em sistema irrigado e não irrigado. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v.24, n.3, p.771-780.
- Houghton, R.A 2003. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850-2000. *Tellus* 55B, 378-390.
- Houghton, R.A. 2005. The contemporary carbon cycle. In: Schlesinger, W. H. (Ed.), *Biogeochemistry*. Elsevier. Oxford, UK, pp 473-513.
- Huang, P. M; Schnitzer, M. 1986. Interactions of soil mineral with natural organics and microbes. Madison. Soil Science Society America, 606p.
- IBGE. 2006. Produção da Pecuária Municipal. Rio de Janeiro, v. 34, p. 1-62.

- IPCC. 2007. Mudança do Clima 2007: a base das Ciências Físicas. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. Website: <http://www.ipcc.ch>
- Jantalia, C.P., Resck, D.V.S., Alves, B.J.R., Zotarelli, L., Urquiaga, S., Boddey, R.M., 2007. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. *Soil Till. Res.* 95, 97–109.
- Kelly, R.H., Parton, W.J., Crocker, G.J., Grace, P.R., Klir, J., Korschens, M., Poulton, P.R., Richter, D.D., 1997. Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using the CENTURY model. *Geoderma* 81, 75–90.
- Killham, K. 1994. *Soil Ecology*. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Kirschbaum, M.U.F., Paul, K.I., 2002. Modelling C and N dynamics in forest soils with a modified version of the Century model. *Soil Biol. Biochem.* 34, 341–354.
- Klink, C.A., Macedo, R.F., & Mueller, C.C. 1995. De grão em grão o Cerrado perde espaço. Cerrado: impactos do processo de ocupação. Documento para discussão. WWF-PRODECER, Brasília.
- Klink, C.A. & Machado, R.B. 2005. A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade*. Vol. 1. nº 1. 147-155.
- Krull, E.S., and J.O. Skjemstad. 2003.  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  profiles in  $^{14}\text{C}$ -dated Oxisol and Vertisols as a function of soil chemistry and mineralogy. *Geoderma* 112:1–29.
- Lardy, L.C., Brossard, M., Lopes Assad, M.L., Laurent, J. Y. 2002. Carbon and phosphorus stocks of clayey Ferrasols in Cerrado native and agroecosystems, Brasil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 92: 147-158.

Leite, L.F.C., Mendonça, E.S. 2003. Modelo Century de dinâmica da matéria orgânica do solo: equações e pressupostos. *Revista Ciência Rural*. 33(4):679-686.

Leite, L.F.C., Mendonça, E.S. 2007. Perspectivas e Limitações da Modelagem da Dinâmica da Matéria Orgânica dos Solos Tropicais. *Tópicos em Ciência do Solo*. Vol. V:181-218.

Lepsch, I.F., Menk, J.R.F., Oliveira, J.B. 1994. Carbon storage and other properties of soils under agriculture and natural vegetation in São Paulo State, Brazil. *Soil Use and Management*. 10:34:42.

Lilienfein, J., Wilcke, W., Zimmermann, R, Gertsberger, G.M., Ayarza, M.A., & Zech, W. 2001. Nutrient storage in soil and biomass of native Brazilian Cerrado. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 164:487-495.

Lopes, D.N. Influência do calcário, fósforo e micronutrientes na mineralização da matéria orgânica e características físico-químicas de material de três solos de Altamira (Pará). Viçosa, Imprensa Universitária (Tese M.S.), 1977. 104 p.

Macedo, M.C.M. Degradação de pastagens; conceitos e métodos de recuperação In:

“SUSTENTABILIDADE DA PECUÁRIA DE LEITE NO BRASIL”. *Anais...*, Juiz de Fora. 1999. P.137-150.

Machado, P.L.O.A. 2005. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. *Quím. Nova*, vol.28, no.2, p.329-334.

Marchão, R.L; Becquer, T; Brunet, D; Balbino, L.C; Vilela, L; Brossard, M. 2009. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop-livestock management systems. *Soil & Tillage Research*. v. 103, n. 2, p. 442-450.

- Marchão, R.L. 2007. Integração lavoura-pecuária num latossolo do Cerrado: impacto na física, matéria orgânica e macrofauna. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Goiás, Brasil.
- Martel, Y.A.; Paul, E.A. 1974. Effects of cultivation on the organic matter of grassland soils as determined by fractionation and radio-carbon dating. *Canadian Journal Soil Science*, v.54, p.419-426.
- Melillo, J.M.; Naiman R.J.; Aber, J.D. 1984. Factors controlling mass loss and nitrogen dynamics of plant litter decaying in northern streams. *Bulletin Mar. Science*, v.35, n.3, p.341-356.
- Mendonça, R. C.; Felfili, J. M.; Walter, B. M. T.; Silva Júnior, M. C.; Rezende, A. V.; Filgueiras, T.S.; Nogueira, P.E.; Fagg, C.W. Flora vascular do Bioma Cerrado: checklist com 12.356 espécies. *In*: Sano, S.M.; Almeida, S.P.; Ribeiro, J.F. 2008. Cerrado: ecologia e flora. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados. v2. 279p.
- MMA. 2009. Relatório técnico de monitoramento do desmatamento no Bioma Cerrado, 2002 a 2008. Acordo de cooperação técnica MMA/IBAMA/PNUD. Centro de Informação, Documentação Ambiental e Editoração Luís Eduardo Magalhães – CID Ambiental. Brasília, DF.
- Molina, J.A.E.; Smith, P. 1998. Modeling carbon and nitrogen processes in soil. *Advances in Agronomy*, 62, 253-298.
- Moraes, J.L., C.C. Cerri, J.M. Melillo, D. Kicklighter, C. Neill, D.L. Skole, and P.A. Steudler. 1995. Soil carbon stocks of the Brazilian Amazon Basin. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 29:244–247.
- Müller, T., and H. Höper. 2004. Soil organic matter turnover as a function of the soil clay content: Consequences for model applications. *Soil Biol. Biochem.* 36:877–888.

- Munn, L.C., G.A. Nielsen, and W.F. Mueggler. 1978. Relationships of soils to mountain and foothill range habitat types and production in western Montana. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:135–139.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermaier, C.G., Fonseca, G.A.B., & Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- Oades, J.M., and A.G. Waters. 1991. Aggregate hierarchy in soils. *Aust. J. Soil Res.* 29:815–828.
- Oades, J.M. 1989. An introduction to organic matter in mineral soils. In: Dixon, J.B; Weed, S.B. (ed). *Mineral in soil environments*. 2 ed. Madison. Soil Science Society America, p.89-159.
- Oades, J.M. 1988. The retention of organic matter in soils. *Biogeochemistry* 5:35–70.
- Oliveira, O.C., Oliveira, I.P., Urquiaga, S., E., Alves, B.J.R., Boddey, R.M. 2004. Chemical and biological indicators of decline/degradation of *Brachiaria* pastures in the Brazilian Cerrado. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103(2):289-300.
- Oliveira, O.C., Oliveira, I.P., Ferreira, E., Alves, B.J.R., Miranda, C.H.B., Vilela, L., Urquiaga, S., & Boddey, R.M. 2001. Response of degraded pastures in the Brazilian cerrado to chemical fertilization. *Pasturas Tropicales* 23: 14-18.
- Parfitt, R.L.; Theng, B.K.G.; Witton, J.S. 1997. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. *Geoderma*, v.75, p.1-12.
- Parton, W.J.; Wooster, P.L. Martin, A. 1994. Modeling soil organic matter dynamics and plant productivity in tropical ecosystems. In: WOOSTER, P.L.; SWIFT, M.J. (Eds). *The biological management of tropical soil fertility*. Chichester: John Wiley & Sons, p.171-188.

- Parton, W.J.; Schimel, D.S.; Cole, C.V.. 1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. *Soil Science Society America Journal*, v.51, p.1173-1179.
- Parton, W.J., Rasmussen, P.E., 1994. Long-term effects of crop management in wheat/fallow: II. CENTURY model simulations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 530–536.
- Paustian, K., Parton, W.J., Persson, J., 1992. Modeling soil organic matter in organic-amended and N-fertilized long-term plots. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56, 476–488.
- Ponce-Hernandez R. 2004. Assessing carbon stocks and modelling win-win scenarios of carbon sequestration through land-use changes. Roma. FAO. 156p.
- Reatto, A., Correa, J.R., & Spera, S.T. 1998. Solos do bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: Sano, S.M., Almeida (Eds.), *Cerrado: ambiente e flora*. EMBRAPA-CPAC, Planaltina, pp. 47-88.
- Resck, D.V.S., Vasconcelos, C.A., Vilela, L., Macedo, M.C.M. 2000. Impact of conversion of Brazilian cerrados to cropland and pasture land on soil carbon pool and dynamics. In: Lal, R., Kimble, J.M, Stewart, B.A. (Eds.) *Global Climate Change and Tropical Ecosystems*. Adv. Soil. Sci. CRC Press, Boca Raton, FL. Pp 169-196.
- Resck, D.V.S. 1998. Agricultural intensification systems and their impact on soil and water quality in the cerrados of Brazil. In: Lal, R. (Ed.), *Soil quality and agricultural sustainability*. Ann Arbor Press, Chelsea, pp. 288-300.
- Resende, M.; Curi, N.; Rezende, S.B.; Correa, G.F. 1997. *Pedologia: Base para distinção de ambientes*. 2ed. Viçosa, NEPUT, 367p.
- Resende, M., Ker, J.C., & Bahia-Filho, A.F.C. 1996. Desenvolvimento sustentado do cerrado. In: Alvarez, V.H., Fontes, L.E.F., & Fontes, M.P.F. (Eds.), *O solo nos grandes*

domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. SBCS-UFV, Voçosa, pp. 169-199.

Resende, J.C.F. 2001. A ciclagem de nutrientes em áreas de cerrado e a influência de queimadas controladas. Tese de Doutorado, Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília.

Rezende, A.V. 2002. Diversidade, estrutura, dinâmica e prognose do crescimento de um cerrado *sensu stricto* submetido a diferentes distúrbios por desmatamento. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Romanya, J., Cortina, J., Falloon, P., Coleman, K., Smith, P., 2000. Modelling changes in soil organic matter after planting fast-growing *Pinus radiata* on Mediterranean agricultural soils. *Eur. J. Soil Sci.* 51, 627–641.

Roscoe, R., Buurman, P., 2003. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. *Soil Till. Res.* 70, 107–119.

Roscoe, R., Buurman, P., Velthorst, E.J., & Vasconcellos, C.A. 2001. 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* 194: 185-202.

Ryan, M.G.; Melillo, J.M.; Ricca, A. 1990. A comparison of methods for determining proximate carbon fractions of forest litter. *Canadian Journal Forest Research*, v.20, p.166-171.

Sá, J. C. M. S. et al. 2004. O plantio direto como base do sistema de produção visando o sequestro de carbono. *Revista Plantio Direto, Passo Fundo* 84, 45 – 61.

Salton, J.C., 2005. Matéria Orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical. In: Tese (Doutorado)—Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 158.

Sanford, R.L.J., Parton, W.J., Ojima, D.S., Lodge, D.J., 1991. Hurricane effects on soil organic matter dynamics and forest production in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico: results of simulation modeling. *Biotropica* 23, 364–372.

Santos, R.S.M; Oliveira, I.P; Morais, R.F; Urquiaga, S.C.; Boddey, R.M; Alves, B.J.R. 2007. Componentes da parte aérea e raízes de pastagens de *Brachiaria* spp. Em diferentes idades após a reforma, como indicadores de produtividade em ambiente de cerrado. *Pesq. Agropec. Trop.* 37(2): 119-124.

Schlesinger, W.H. 1984. The role of terrestrial vegetation in the global carbon cycle: measurement and remote sensing. Ed. G.M. Woodwell. Wiley, Chichester. pp. 111-127.

Scott, N. A.; Vernon, C. C.; Elliot, E. T. 1996. Soil textural control on decomposition and soil organic matter dynamics. *Soil Science Society America Journal*, v.60, p.1102-1109.

Silva, F.A.M.; Scopel, E.; Oliveira, M.N.; Almeida S.C.R.; Xavier, J.H.V.; Cordeiro, L.A. 2008. Plantio direto de milho para pequenos produtores do Cerrado: potencial de produção de grãos e de biomassa. IX Simpósio Nacional Cerrado. Brasília, DF.

Silva, E.F.L. 2006. Produção de serapilheira e decomposição do material foliar em um cerradão na Estação Ecológica de Jataí, município de Luiz Antônio, SP, Brasil. *Acta bot. bras.* 20(1): 49-59.

Silva, J.E., Resck, D.V.S., Corazza, E.J., & Vivaldi, L. 2004. Carbon storage in clayed Oxisol cultivated pastures in the cerrado region, Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103: 357-363.

- Silva, J.E., Lemainski, J., Resck, D.V.S. 1994. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região dos cerrados do oeste baiano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 18:541-547.
- Siqueira Neto, M. 2006. Estoque de carbono e nitrogênio do solo com diferentes usos no Cerrado em Rio Verde – GO. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Brasil.
- Silva, F. 1990. Compartilhamento de nutrientes em diferentes componentes da biomassa aérea em espécies arbóreas de um cerrado. Tese de Mestrado. Dep. de Ecologia, UnB.
- Smith, J.U.; Bradbury, N.J.; Addiscott, T.M. 1996. Sundial: a user friendly PC-based system for simulating nitrogen dynamics in arable land. *Agron. J.* 88:38-43.
- Spain, J.M.; Ayarza, M.A.; Vilela, L. Crop pasture rotations in the brazilian Cerrados. In: Simpósio sobre o Cerrado, 8.; International Symposium on Tropical Savannas, 1., 1996, Brasília. Biodiversidade e produção sustentável de fibras no Cerrados: anais...Planaltina: Embrapa-CPAC, 1996. p. 39-45.
- Soon, Y.K. 1998. Crop residue and fertilizer management affects on some biological and chemical properties of a dark, Gray Solod. *Canadian Journal of Soil Science*, 78, 707-713.
- Sorenson, L.H. 1981. Carbon-nitrogen relationship during the humification of cellulose in soil containing different amounts of clay. *Soil Biology Biochemistry*, v.13, p.313-321.
- Stevenson, F.J. 1994. *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. Second edition ed. John Wiley & Sons.
- Tate, K. R.; Theng, B.K.G. 1980. Organic matter and its interactions to inorganic soil constituents: In: Theng, B.K.G, (Ed). *Soil with variable charge*, Lower Hutt, New Zealand Society of Soil Science, p. 225-249.

- Urquiaga, S.; Cadisch, G.; Alves, J.R.; Boddey, R.M; Giller, K.E. 1998. Influence of decomposition of roots of tropical forage species on the availability of soil nitrogen. *Soil Biology and Biochemistry* 30: 20099-2106.
- Varadachari, C., A.H. Mondal, and K. Ghosh. 1995. The influence of crystal edges on clay-humus complexation. *Soil Sci.* 159:185-190.
- Vilela, L.; Macedo, M.C.M.; Martha Junior, G.B.; Kluthcouski, J. Benefícios da Integração lavoura-pecuária. In: *Integração Lavoura-Pecuária*. 2003. Santo Antônio de Goiás. Embrapa - Arroz e Feijão. p. 143 - 170.
- Waksman, S. Principles of soil microbiology. 1952. 2ª ed. Baltimore, Williams & Wilkings Company, 894 p.
- Wang, H., Cornell, J., Hall, C.A.S., Marley, D.P., 2002. Spatial and seasonal dynamics of surface soil carbon in the Luquillo experimental forest. *Ecol. Model.* 147, 105-122.
- Wattel-Koekkoek, E.J.W. & Buurman P. 2004. Mean residence time of kaolinite and smectitebound organic matter in Mozambiquean soils. *Soil Sci. Soc. Am.*, 68:154-161.
- Watel-Koekkoek, E.J.W.; van Genuchten, P.P.L.; Buurman, P. & van Lagen, B. 2001. Amount and composition of clay-associated soil organic matter in a range of kaolinitic and smectitic soils. *Geoderma*, 99:27-49.
- Wendling, B. 2007. Compartimentos da matéria orgânica do solo medidos e estimados pelo modelo Century para os solos de Minas Gerais. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa.
- Wilts, A.R.; Reicosky, D.C.; Allmaras, R.; et al. 2004. Long term corn residue effects: harvest alternatives, soil carbon turnover and root-derived carbon. *Soil Science Society of America Journal*, 68, 1342-1351.

Zinn, Y.L.; Lal, R. & Resck, D.V.S. 2007. Edaphic Controls on Soil Organic Carbon Retention in the Brazilian Cerrado: Texture and Mineralogy. SSSAJ, Volume 71: 4.

Zinn, Y.L.; Lal, R. & Resck, D.V.S. 2005. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. Soil Till. Res., 84:28-40.

Zinn, Y.L.; Lal, R. & Resck, D.V.S. 2005b. Texture and organic carbon relations described by a profile pedotransfer function for Brazilian Cerrado soils. Geoderma, 127: 168-173.

## **ANEXO A:**

### **Arquivos FIX.100**

	<b>Default Century 4.0</b>	<b>Wendling (2007)</b>	<b>Presente Trabalho</b>
'ADEP(1)'	15,00	15,00	15,00
'ADEP(2)'	15,00	15,00	15,00
'ADEP(3)'	15,00	15,00	15,00
'ADEP(4)'	15,00	15,00	15,00
'ADEP(5)'	30,00	30,00	30,00
'ADEP(6)'	30,00	30,00	30,00
'ADEP(7)'	30,00	30,00	30,00
'ADEP(8)'	30,00	30,00	30,00
'ADEP(9)'	0,00	0,00	0,00
'ADEP(10)'	0,00	0,00	0,00
'AGPPA'	-40,00	-40,00	-40,00
'AGPPB'	7,70	7,70	7,70
'ANEREF(1)'	1,50	1,50	1,50
'ANEREF(2)'	3,00	3,00	3,00
'ANEREF(3)'	0,40	0,30	0,30
'ANIMPT'	2,00	5,00	5,00
'AWTL(1)'	0,80	0,80	0,80

'AWTL(2)'	0,60	0,60	0,60
'AWTL(3)'	0,40	0,40	0,40
'AWTL(4)'	0,30	0,30	0,30
'AWTL(5)'	0,20	0,20	0,20
'AWTL(6)'	0,20	0,20	0,20
'AWTL(7)'	0,20	0,20	0,20
'AWTL(8)'	0,20	0,20	0,20
'AWTL(9)'	0,00	0,00	0,00
'AWTL(10)'	0,00	0,00	0,00
'BGPPA'	100,00	100,00	100,00
'BGPPB'	7,00	7,00	7,00
'CO2PPM(1)'	350,00	350,00	350,00
'CO2PPM(2)'	700,00	700,00	700,00
'CO2RMP'	1,00	0,00	0,00
'DAMR(1,1)'	0,00	0,00	0,00
'DAMR(1,2)'	0,00	0,00	0,00
'DAMR(1,3)'	0,00	0,01	0,01
'DAMR(2,1)'	0,00	0,02	0,02
'DAMR(2,2)'	0,00	0,02	0,02
'DAMR(2,3)'	0,00	0,04	0,04
'DAMRMN(1)'	15,00	15,00	15,00
'DAMRMN(2)'	150,00	150,00	150,00
'DAMRMN(3)'	150,00	150,00	150,00
'DEC1(1)'	3,90	3,90	2,50
'DEC1(2)'	4,90	4,90	4,90
'DEC2(1)'	14,80	14,80	14,80
'DEC2(2)'	18,50	18,50	18,50
'DEC3(1)'	6,00	6,00	6,00
'DEC3(2)'	7,30	30,30	7,30
'DEC4'	0,00660	0,005580	0,005580
'DEC5'	0,20	1,15	1,15
'DECK5'	5,00	5,00	5,00
'DLIGDF'	-4,00	-4,00	-4,00
'DRESP'	0,999	0,999	0,999
'EDEPTH'	0,20	0,20	0,20
'ELITST'	0,40	0,40	0,40
'ENRICH'	2,00	2,00	2,00
'FAVAIL(1)'	0,90	0,90	0,90
'FAVAIL(3)'	0,50	0,50	0,50
'FAVAIL(4)'	0,40	0,20	0,20
'FAVAIL(5)'	0,80	0,40	0,40
'FAVAIL(6)'	2,00	2,00	2,00
'FLEACH(1)'	0,20	0,20	0,20
'FLEACH(2)'	0,70	0,70	0,70

'FLEACH(3)'	1,00	1,00	1,00
'FLEACH(4)'	0,00	0,00	0,00
'FLEACH(5)'	0,10	0,10	0,10
'FWLOSS(1)'	0,80	0,80	0,80
'FWLOSS(2)'	0,80	0,80	0,80
'FWLOSS(3)'	0,65	0,65	0,65
'FWLOSS(4)'	0,75	0,80	0,80
'FXMCA'	-0,125	-0,125	-0,125
'FXMCB'	0,005	0,005	0,005
'FXMXS'	0,35	0,35	0,35
'FXNPB'	7,00	7,00	7,00
'GREMB'	0,00	0,00	0,00
'IDEF'	2,00	2,00	2,00
'LHZF(1)'	0,20	0,20	0,20
'LHZF(2)'	0,40	0,40	0,40
'LHZF(3)'	0,80	0,80	0,80
'MINLCH'	18,00	18,00	18,00
'NSNFIK'	0,00	0,00	0,00
'NTSPM'	4,00	4,00	4,00
'OMLECH(1)'	0,01	0,03	0,03
'OMLECH(2)'	0,04	0,12	0,12
'OMLECH(3)'	18,00	60,00	60,00
'P1CO2A(1)'	0,60	0,60	0,60
'P1CO2A(2)'	0,17	0,17	0,17
'P1CO2B(1)'	0,00	0,00	0,00
'P1CO2B(2)'	0,68	0,68	0,68
'P2CO2'	0,55	0,55	0,55
'P3CO2'	0,55	0,55	0,55
'PABRES'	100,00	100,00	100,00
'PCEMIC(1,1)'	20,00	16,00	16,00
'PCEMIC(1,2)'	180,00	200,00	200,00
'PCEMIC(1,3)'	150,00	150,00	150,00
'PCEMIC(2,1)'	10,00	10,00	10,00
'PCEMIC(2,2)'	80,00	99,00	99,00
'PCEMIC(2,3)'	50,00	50,00	50,00
'PCEMIC(3,1)'	0,02	0,02	0,02
'PCEMIC(3,2)'	0,002	0,002	0,002
'PCEMIC(3,3)'	0,002	0,002	0,002
'PEFTXA'	0,25	0,25	0,25
'PEFTXB'	0,75	0,75	0,75
'PHESP(1)'	5,00	6,00	6,00
'PHESP(2)'	0,001	0,001	0,001
'PHESP(3)'	7,600	7,600	7,600
'PHESP(4)'	0,015	0,015	0,015

'PLIGST(1)'	3,00	3,00	3,00
'PLIGST(2)'	3,00	3,00	3,00
'PMCO2(1)'	0,55	0,55	0,55
'PMCO2(2)'	0,55	0,55	0,55
'PMNSEC(1)'	0,00	0,00	0,00
'PMNSEC(2)'	2,00	0,00	0,00
'PMNSEC(3)'	0,00	2,00	2,00
'PMNTMP'	0,004	0,004	0,004
'PMXBIO'	600,00	600,00	600,00
'PMXTMP'	-0,004	-0,004	-0,004
'PPARMN(1)'	0,00	0,00	0,00
'PPARMN(2)'	0,00	0,00	0,00
'PPARMN(3)'	0,001	0,001	0,001
'PPRPTS(1)'	0,00	0,00	0,00
'PPRPTS(2)'	1,00	1,00	1,00
'PPRPTS(3)'	0,80	0,80	0,80
'PS1CO2(1)'	0,45	0,45	0,45
'PS1CO2(2)'	0,55	0,55	0,55
'PS1S3(1)'	0,003	0,003	0,003
'PS1S3(2)'	0,032	0,032	0,032
'PS2S3(1)'	0,003	0,034	0,034
'PS2S3(2)'	0,009	0,009	0,009
'PSECMN(1)'	0,00	0,00	0,00
'PSECMN(2)'	0,002	0,002	0,002
'PSECMN(3)'	0,20	0,20	0,20
'PSECOC1'	1,00E-06	0,000	0,000
'PSECOC2'	0,00	0,00	0,00
'RAD1P(1,1)'	-8,000	12,00	12,00
'RAD1P(2,1)'	3,00	3,00	3,00
'RAD1P(3,1)'	5,00	5,00	5,00
'RAD1P(1,2)'	-200,000	220,00	220,00
'RAD1P(2,2)'	5,00	5,00	5,00
'RAD1P(3,2)'	100,00	100,00	100,00
'RAD1P(1,3)'	-200,000	220,00	220,00
'RAD1P(2,3)'	5,00	5,00	5,00
'RAD1P(3,3)'	100,00	100,00	100,00
'RCESTR(1)'	150,00	200,00	200,00
'RCESTR(2)'	500,00	500,00	500,00
'RCESTR(3)'	500,00	500,00	500,00
'RICTRL'	0,015	0,015	0,015
'RIINT'	0,80	0,80	0,80
'RSPLIG'	0,30	0,30	0,30
'SEED'	-1,00	-1,00	-1,00
'SPL(1)'	0,99	0,85	0,85

'SPL(2)'	0,018	0,013	0,013
'STRMAX(1)'	500,00	5.000,00	5.000,00
'STRMAX(2)'	1.000,00	5.000,00	5.000,00
'TEXEPP(1)'	1,00	1,00	1,00
'TEXEPP(2)'	0,70	0,70	0,70
'TEXEPP(3)'	0,00	0,00	0,00
'TEXEPP(4)'	0,00	0,00	0,00
'TEXEPP(5)'	2,00	2,00	2,00
'TEXESP(1)'	1,00	1,00	1,00
'TEXESP(3)'	0,004	0,004	0,004
'TEFF(1)'	-	15,40	15,40
'TEFF(2)'	-	11,75	11,75
'TEFF(3)'	-	29,70	29,70
'TEFF(4)'	-	0,031	0,031
'TMELT(1)'	0,00	0,00	0,00
'TMELT(2)'	4,00	0,00	0,00
'VARAT1(1,1)'	14,00	14,00	14,00
'VARAT1(2,1)'	3,00	3,00	3,00
'VARAT1(3,1)'	2,00	2,00	2,00
'VARAT1(1,2)'	100,00	150,00	150,00
'VARAT1(2,2)'	30,00	30,00	30,00
'VARAT1(3,2)'	2,00	2,00	2,00
'VARAT1(1,3)'	80,00	200,00	200,00
'VARAT1(2,3)'	20,00	50,00	50,00
'VARAT1(3,3)'	3,00	2,00	2,00
'VARAT2(1,1)'	18,00	20,00	20,00
'VARAT2(2,1)'	12,00	22,00	22,00
'VARAT2(3,1)'	2,00	2,00	2,00
'VARAT2(1,2)'	200,00	400,00	400,00
'VARAT2(2,2)'	90,00	100,00	100,00
'VARAT2(3,2)'	2,00	2,00	2,00
'VARAT2(1,3)'	200,00	400,00	400,00
'VARAT2(2,3)'	90,00	100,00	100,00
'VARAT2(3,3)'	3,00	2,00	2,00
'VARAT3(1,1)'	8,00	8,00	8,00
'VARAT3(2,1)'	6,00	35,00	35,00
'VARAT3(3,1)'	2,00	2,00	2,00
'VARAT3(1,2)'	200,00	200,00	200,00
'VARAT3(2,2)'	20,00	50,00	50,00
'VARAT3(3,2)'	2,00	2,00	2,00
'VARAT3(1,3)'	200,00	200,00	200,00
'VARAT3(2,3)'	20,00	50,00	50,00
'VARAT3(3,3)'	3,00	2,00	2,00
'VLOSSE'	0,05	0,02	0,02

'VLOSSG'	0,03	1,00	1,00
----------	------	------	------

Os parâmetros hachurados indicam alterações em relação ao arquivo de origem.

## Arquivo SITE.100

	Presente Trabalho
'PRECIP(1)'	24,71
'PRECIP(2)'	20,98
'PRECIP(3)'	23,05
'PRECIP(4)'	10,76
'PRECIP(5)'	27,70
'PRECIP(6)'	5,30
'PRECIP(7)'	0,06
'PRECIP(8)'	1,82
'PRECIP(9)'	3,79
'PRECIP(10)'	8,42
'PRECIP(11)'	21,79
'PRECIP(12)'	22,91
'PRCSTD(1)'	0,00
'PRCSTD(2)'	0,00
'PRCSTD(3)'	0,00
'PRCSTD(4)'	0,00
'PRCSTD(5)'	0,00
'PRCSTD(6)'	0,00
'PRCSTD(7)'	0,00
'PRCSTD(8)'	0,00
'PRCSTD(9)'	0,00
'PRCSTD(10)'	0,00
'PRCSTD(11)'	0,00
'PRCSTD(12)'	0,00
'PRCSKW(1)'	0,00
'PRCSKW(2)'	0,00
'PRCSKW(3)'	0,00
'PRCSKW(4)'	0,00
'PRCSKW(5)'	0,00
'PRCSKW(6)'	0,00
'PRCSKW(7)'	0,00
'PRCSKW(8)'	0,00
'PRCSKW(9)'	0,00
'PRCSKW(10)'	0,00
'PRCSKW(11)'	0,00
'PRCSKW(12)'	0,00
'TMN2M(1)'	17,60
'TMN2M(2)'	17,50

'TMN2M(3)'	17,50
'TMN2M(4)'	17,00
'TMN2M(5)'	15,30
'TMN2M(6)'	13,90
'TMN2M(7)'	13,70
'TMN2M(8)'	14,80
'TMN2M(9)'	16,90
'TMN2M(10)'	17,60
'TMN2M(11)'	17,30
'TMN2M(12)'	17,60
'TMX2M(1)'	26,40
'TMX2M(2)'	27,00
'TMX2M(3)'	26,60
'TMX2M(4)'	26,90
'TMX2M(5)'	25,90
'TMX2M(6)'	25,40
'TMX2M(7)'	25,70
'TMX2M(8)'	27,50
'TMX2M(9)'	28,70
'TMX2M(10)'	28,90
'TMX2M(11)'	26,70
'TMX2M(12)'	26,40
*** Site and control parameters	
'IVAUTO'	0,000
'NELEM'	1,00
'SITLAT'	17,36
'SITLNG'	46,42
'SAND'	0,306
'SILT'	0,081
'CLAY'	0,612
'ROCK'	0,00
'BULKD'	0,97
'NLAYER'	9,00
'NLAYPG'	9,00
'DRAIN'	1,00
'BASEF'	0,10
'STORMF'	0,10
'PRECRO'	8,00
'FRACRO'	0,15
'SWFLAG'	0,00
'AWILT(1)'	0,10
'AWILT(2)'	0,10
'AWILT(3)'	0,10
'AWILT(4)'	0,10

'AWILT(5)'	0,10
'AWILT(6)'	0,10
'AWILT(7)'	0,10
'AWILT(8)'	0,10
'AWILT(9)'	0,10
'AWILT(10)'	0,10
'AFIEL(1)'	0,23
'AFIEL(2)'	0,23
'AFIEL(3)'	0,23
'AFIEL(4)'	0,23
'AFIEL(5)'	0,23
'AFIEL(6)'	0,23
'AFIEL(7)'	0,23
'AFIEL(8)'	0,23
'AFIEL(9)'	0,23
'AFIEL(10)'	0,23
'PH'	4,90
'PSLSRB'	0,90
'SORPMX'	200,00
	*** External nutrient input
	parameters
'EPNFA(1)'	0,21
'EPNFA(2)'	0,00
'EPNFS(1)'	30,00
'EPNFS(2)'	0,0021
'SATMOS(1)'	0,00
'SATMOS(2)'	0,00
'SIRRI'	0,00
	*** Organic matter initial
	values
'SOM1CI(1,1)'	0,00
'SOM1CI(1,2)'	0,00
'SOM1CI(2,1)'	0,00
'SOM1CI(2,2)'	0,00
'SOM2CI(1)'	0,00
'SOM2CI(2)'	0,00
'SOM3CI(1)'	0,00
'SOM3CI(2)'	0,00
'RCES1(1,1)'	0,00
'RCES1(1,2)'	0,00
'RCES1(1,3)'	0,00
'RCES1(2,1)'	0,00
'RCES1(2,2)'	0,00
'RCES1(2,3)'	0,00
'RCES2(1)'	0,00

'RCES2(2)'	0,00
'RCES2(3)'	0,00
'RCES3(1)'	0,00
'RCES3(2)'	0,00
'RCES3(3)'	0,00
'CLITTR(1,1)'	100,00
'CLITTR(1,2)'	0,00
'CLITTR(2,1)'	100,00
'CLITTR(2,2)'	0,00
'RCELIT(1,1)'	75,00
'RCELIT(1,2)'	0,00
'RCELIT(1,3)'	0,00
'RCELIT(2,1)'	0,00
'RCELIT(2,2)'	0,00
'RCELIT(2,3)'	0,00
'AGLCIS(1)'	0,00
'AGLCIS(2)'	0,00
'AGLIVE(1)'	0,00
'AGLIVE(2)'	0,00
'AGLIVE(3)'	0,00
'BGLCIS(1)'	0,00
'BGLCIS(2)'	0,00
'BGLIVE(1)'	10,00
'BGLIVE(2)'	0,00
'BGLIVE(3)'	0,00
'STDCIS(1)'	0,00
'STDCIS(2)'	0,00
'STDEDE(1)'	0,00
'STDEDE(2)'	0,00
'STDEDE(3)'	0,00
	*** Forest organic matter
	initial parameters
'RLVCIS(1)'	0,00
'RLVCIS(2)'	0,00
'RLEAVE(1)'	0,00
'RLEAVE(2)'	0,00
'RLEAVE(3)'	0,00
'FBRCIS(1)'	0,00
'FBRCIS(2)'	0,00
'FBRCHE(1)'	0,00
'FBRCHE(2)'	0,00
'FBRCHE(3)'	0,00
'RLWCIS(1)'	0,00
'RLWCIS(2)'	0,00
'RLWODE(1)'	0,50

'RLWODE(2)'	0,00
'RLWODE(3)'	0,00
'FRTCIS(1)'	0,00
'FRTCIS(2)'	0,00
'FROOTE(1)'	0,00
'FROOTE(2)'	0,00
'FROOTE(3)'	0,00
'CRTCIS(1)'	0,00
'CRTCIS(2)'	0,00
'CROOTE(1)'	0,00
'CROOTE(2)'	0,00
'CROOTE(3)'	0,00
'WD1CIS(1)'	0,00
'WD1CIS(2)'	0,00
'WD2CIS(1)'	0,00
'WD2CIS(2)'	0,00
'WD3CIS(1)'	0,00
'WD3CIS(2)'	0,00
	*** Mineral initial
	parameters
'MINERL(1,1)'	0,25
'MINERL(2,1)'	0,00
'MINERL(3,1)'	0,00
'MINERL(4,1)'	0,00
'MINERL(5,1)'	0,00
'MINERL(6,1)'	0,00
'MINERL(7,1)'	0,00
'MINERL(8,1)'	0,00
'MINERL(9,1)'	0,00
'MINERL(10,1)'	0,00
'MINERL(1,2)'	0,50
'MINERL(2,2)'	0,00
'MINERL(3,2)'	0,00
'MINERL(4,2)'	0,00
'MINERL(5,2)'	0,00
'MINERL(6,2)'	0,00
'MINERL(7,2)'	0,00
'MINERL(8,2)'	0,00
'MINERL(9,2)'	0,00
'MINERL(10,2)'	0,00
'MINERL(1,3)'	0,50
'MINERL(2,3)'	0,00
'MINERL(3,3)'	0,00
'MINERL(4,3)'	0,00
'MINERL(5,3)'	0,00

'MINERL(6,3)'	0,00
'MINERL(7,3)'	0,00
'MINERL(8,3)'	0,00
'MINERL(9,3)'	0,00
'MINERL(10,3)'	0,00
'PARENT(1)'	0,00
'PARENT(2)'	0,00
'PARENT(3)'	0,00
'SECNDY(1)'	0,00
'SECNDY(2)'	0,00
'SECNDY(3)'	0,00
'OCCLUD'	0,00
*** Water initial parameters	
'RWCF(1)'	0,00
'RWCF(2)'	0,00
'RWCF(3)'	0,00
'RWCF(4)'	0,00
'RWCF(5)'	0,00
'RWCF(6)'	0,00
'RWCF(7)'	0,00
'RWCF(8)'	0,00
'RWCF(9)'	0,00
'RWCF(10)'	0,00
'SNLQ'	0,00
'SNOW'	0,00

## Arquivos TREE.100

	Wending (2007)	Presente Trabalho
'DECID'	0,0000	0,0000
'PRDX(2)'	0,5000	0,1630
'PPDF(1)'	24,0000	24,0000
'PPDF(2)'	38,0000	38,0000
'PPDF(3)'	1,0000	1,0000
'PPDF(4)'	3,5000	3,5000
'CERFOR(1,1,1)'	14,9000	14,9000
'CERFOR(1,1,2)'	225,0000	225,0000
'CERFOR(1,1,3)'	100,0000	100,0000
'CERFOR(1,2,1)'	25,0000	25,0000
'CERFOR(1,2,2)'	465,0000	465,0000
'CERFOR(1,2,3)'	129,0000	129,0000
'CERFOR(1,3,1)'	43,0000	43,0000
'CERFOR(1,3,2)'	850,0000	850,0000

'CERFOR(1,3,3)'	92,0000	92,0000
'CERFOR(1,4,1)'	150,0000	150,0000
'CERFOR(1,4,2)'	2260,0000	2260,0000
'CERFOR(1,4,3)'	183,0000	183,0000
'CERFOR(1,5,1)'	150,0000	150,0000
'CERFOR(1,5,2)'	2478,0000	2478,0000
'CERFOR(1,5,3)'	175,0000	175,0000
'CERFOR(2,1,1)'	25,0000	25,0000
'CERFOR(2,1,2)'	520,0000	520,0000
'CERFOR(2,1,3)'	100,0000	100,0000
'CERFOR(2,2,1)'	60,0000	60,0000
'CERFOR(2,2,2)'	765,0000	765,0000
'CERFOR(2,2,3)'	129,0000	129,0000
'CERFOR(2,3,1)'	69,0000	69,0000
'CERFOR(2,3,2)'	2550,0000	2550,0000
'CERFOR(2,3,3)'	92,0000	92,0000
'CERFOR(2,4,1)'	300,0000	300,0000
'CERFOR(2,4,2)'	2260,0000	2260,0000
'CERFOR(2,4,3)'	183,0000	183,0000
'CERFOR(2,5,1)'	300,0000	300,0000
'CERFOR(2,5,2)'	2478,0000	2478,0000
'CERFOR(2,5,3)'	175,0000	175,0000
'CERFOR(3,1,1)'	17,2000	17,2000
'CERFOR(3,1,2)'	402,4000	402,4000
'CERFOR(3,1,3)'	100,0000	100,0000
'CERFOR(3,2,1)'	76,0000	76,0000
'CERFOR(3,2,2)'	765,0000	765,0000
'CERFOR(3,2,3)'	129,0000	129,0000
'CERFOR(3,3,1)'	50,8000	50,8000
'CERFOR(3,3,2)'	1496,4000	1496,4000
'CERFOR(3,3,3)'	92,0000	92,0000
'CERFOR(3,4,1)'	155,0000	155,0000
'CERFOR(3,4,2)'	2260,0000	2260,0000
'CERFOR(3,4,3)'	183,0000	183,0000
'CERFOR(3,5,1)'	155,0000	155,0000
'CERFOR(3,5,2)'	2478,0000	2478,0000
'CERFOR(3,5,3)'	175,0000	175,0000
'DECW1'	1,5000	1,5000
'DECW2'	0,5000	0,5000
'DECW3'	0,6000	0,6000
'FCFRAC(1,1)'	0,2500	0,0100
'FCFRAC(2,1)'	0,2500	0,0500
'FCFRAC(3,1)'	0,1000	0,4500
'FCFRAC(4,1)'	0,3000	0,1200

'FCFRAC(5,1)'	0,1000	0,3700
'FCFRAC(1,2)'	0,3400	0,0100
'FCFRAC(2,2)'	0,2500	0,0500
'FCFRAC(3,2)'	0,1100	0,4500
'FCFRAC(4,2)'	0,2200	0,1200
'FCFRAC(5,2)'	0,0800	0,3700
'TFRTC�(1)'	0,3500	0,3500
'TFRTC�(2)'	0,2500	0,2500
'TFRTCW(1)'	0,3500	0,3500
'TFRTCW(2)'	0,2500	0,2500
'LEAFDR(1)'	0,0200	0,0400
'LEAFDR(2)'	0,0200	0,0400
'LEAFDR(3)'	0,0300	0,0600
'LEAFDR(4)'	0,0300	0,0600
'LEAFDR(5)'	0,0500	0,1000
'LEAFDR(6)'	0,0500	0,1000
'LEAFDR(7)'	0,0900	0,1800
'LEAFDR(8)'	0,0900	0,1800
'LEAFDR(9)'	0,0500	0,1000
'LEAFDR(10)'	0,0100	0,0400
'LEAFDR(11)'	0,0100	0,0400
'LEAFDR(12)'	0,0200	0,0400
'BTOLAI'	0,0070	0,0070
'KLAI'	1,0000	1,0000
'LAITOP'	-0,4700	-0,4700
'MAXLAI'	20,0000	5,0000
'MAXLDR'	1,0000	1,0000
'FORRTF(1)'	0,5000	0,5000
'FORRTF(2)'	0,2000	0,2000
'FORRTF(3)'	0,2000	0,2000
'SAPK'	1,0000	1,0000
'SWOLD'	0,0000	0,0000
'WDLIG(1)'	0,0900	0,0900
'WDLIG(2)'	0,1600	0,1600
'WDLIG(3)'	0,2000	0,2000
'WDLIG(4)'	0,3000	0,3000
'WDLIG(5)'	0,3000	0,3000
'WOODDR(1)'	0,1000	0,1000
'WOODDR(2)'	0,0300	0,0600
'WOODDR(3)'	0,0100	0,0200
'WOODDR(4)'	0,0008	0,0016
'WOODDR(5)'	0,0010	0,0020
'SNFXMX(2)'	0,0000	0,0000
'DEL13C'	0,0000	0,0000

'CO2IPR'	1,0000	1,0000
'CO2ITR'	1,0000	1,0000
'CO2ICE(1,1,1)'	1,0000	1,0000
'CO2ICE(1,1,2)'	1,0000	1,0000
'CO2ICE(1,1,3)'	1,0000	1,0000
'CO2ICE(1,2,1)'	1,2000	1,2000
'CO2ICE(1,2,2)'	1,0000	1,0000
'CO2ICE(1,2,3)'	1,0000	1,0000
'CO2IRS'	1,0000	1,0000
'BASFC2'	1,0000	1,0000
'BASFACT'	1,0000	1,0000
'SITPOT'	1,0000	1,0000
'MAXNP'	13,5000	13,5000
'KMRSP(2)'	0,0000	0,0000
'FKMRSPMX(1)'	0,0000	0,0000
'FKMRSPMX(2)'	0,0000	0,0000
'FKMRSPMX(3)'	0,0000	0,0000
'FKMRSPMX(4)'	0,0000	0,0000
'FKMRSPMX(5)'	0,0000	0,0000
'NO3PREF(2)'	0,5000	0,5000
'TLAYPG'	6,0000	6,0000
'TMLPFF'	7,0000	7,0000
'TMLPFS'	10,0000	10,0000

Os parâmetros hachurados indicam alterações em relação ao arquivo de origem.

### Arquivos TREM.100

	Wendling (2007)	Presente Trabalho
'EVNTYP'	0,00	0,00
'REMF(1)'	0,99	0,99
'REMF(2)'	0,99	0,99
'REMF(3)'	0,99	0,99
'REMF(4)'	0,00	0,99
'REMF(5)'	0,00	0,99
'FD(1)'	0,70	0,90
'FD(2)'	0,20	1,00
'RETF(1,1)'	1,00	0,01
'RETF(1,2)'	1,00	0,01
'RETF(1,3)'	1,00	0,01
'RETF(1,4)'	1,00	0,01
'RETF(2,1)'	1,00	0,01
'RETF(2,2)'	1,00	0,01
'RETF(2,3)'	1,00	0,01
'RETF(2,4)'	1,00	0,01

'RETF(3,1)'	0,00	0,01
'RETF(3,2)'	0,00	0,01
'RETF(3,3)'	0,00	0,01
'RETF(3,4)'	0,00	0,01

Os parâmetros hachurados indicam alterações em relação ao arquivo de origem.

### Arquivos CROP.100 (Pastagem)

	Presente			Presente		
	Wendling (2007)	Trabalho	Presente Trabalho MA1 / MA2 / MA3 / MA4	Trabalho	Presente Trabalho	
	BE1	BE1	ILPC/ILPD PCAP	BE5	PCBP	BD e AND (Validação)
'PRDX(1)'	0,47	0,35	0,50 / 0,35 / 0,25 / 0,20	0,12		0,10
'PPDF(1)'	22,00	22,00	22,00	22,00		22,00
'PPDF(2)'	45,00	45,00	45,00	45,00		45,00
'PPDF(3)'	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00
'PPDF(4)'	2,50	2,50	2,50	2,50		2,50
'BIOFLG'	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00
'BIOK5'	60,00	60,00	60,00	60,00		60,00
'PLTMRF'	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00
'FULCAN'	100,00	100,00	100,00	100,00		100,00
'FRTCINDEX'	2,00	2,00	2,00	2,00		2,00
'FRTC(1)'	0,50	0,60	0,60	0,60		0,60
'FRTC(2)'	0,30	0,60	0,60	0,60		0,60
'FRTC(3)'	3,00	4,00	4,00	4,00		4,00
'FRTC(4)'	0,20	0,20	0,20	0,20		0,20
'FRTC(5)'	0,10	0,10	0,10	0,10		0,10
'CFRTCEN(1)'	0,40	0,40	0,40	0,40		0,40
'CFRTCEN(2)'	0,25	0,25	0,25	0,25		0,25
'CFRTCEN(1)'	0,50	0,50	0,50	0,50		0,50
'CFRTCEN(2)'	0,10	0,10	0,10	0,10		0,10
'BIOMAX'	400,00	400,00	400,00	400,00		400,00
'PRAMN(1,1)'	10,00	10,00	10,00	10,00		10,00
'PRAMN(2,1)'	390,00	390,00	390,00	390,00		390,00
'PRAMN(3,1)'	340,00	340,00	340,00	340,00		340,00
'PRAMN(1,2)'	40,00	40,00	40,00	40,00		40,00
'PRAMN(2,2)'	390,00	390,00	390,00	390,00		390,00
'PRAMN(3,2)'	340,00	340,00	340,00	340,00		340,00
'PRAMX(1,1)'	20,00	20,00	20,00	20,00		20,00
'PRAMX(2,1)'	440,00	440,00	440,00	440,00		440,00
'PRAMX(3,1)'	440,00	440,00	440,00	440,00		440,00
'PRAMX(1,2)'	60,00	60,00	60,00	60,00		60,00
'PRAMX(2,2)'	440,00	440,00	440,00	440,00		440,00
'PRAMX(3,2)'	440,00	440,00	440,00	440,00		440,00
'PRBMN(1,1)'	60,00	60,00	60,00	60,00		60,00

'PRBMN(2,1)'	390,00	390,00	390,00	390,00	390,00
'PRBMN(3,1)'	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00
'PRBMN(1,2)'	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
'PRBMN(2,2)'	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
'PRBMN(3,2)'	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
'PRBMX(1,1)'	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
'PRBMX(2,1)'	420,00	420,00	420,00	420,00	420,00
'PRBMX(3,1)'	420,00	420,00	420,00	420,00	420,00
'PRBMX(1,2)'	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
'PRBMX(2,2)'	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
'PRBMX(3,2)'	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
'FLIGNI(1,1)'	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
'FLIGNI(2,1)'	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
'FLIGNI(1,2)'	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
'FLIGNI(2,2)'	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
'HIMAX'	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
'HIWSF'	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
'HIMON(1)'	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
'HIMON(2)'	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
'EFRGRN(1)'	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
'EFRGRN(2)'	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
'EFRGRN(3)'	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
'VLOSSP'	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
'FSDETH(1)'	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
'FSDETH(2)'	0,00	0,50	0,50	0,50	0,50
'FSDETH(3)'	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20
'FSDETH(4)'	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00
'FALLRT'	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
'RDR'	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
'RTDTMP'	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
'CRPRTF(1)'	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
'CRPRTF(2)'	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
'CRPRTF(3)'	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
'SNFXMX(1)'	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01
'DEL13C'	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00
'CO2IPR(1)'	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
'CO2ITR(1)'	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
'CO2ICE(1,1,1)'	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
'CO2ICE(1,1,2)'	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
'CO2ICE(1,1,3)'	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
'CO2ICE(1,2,1)'	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
'CO2ICE(1,2,2)'	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
'CO2ICE(1,2,3)'	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
'CO2IRS(1)'	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

'KMRSP(1)'	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
'CKMRSPMX(1)'	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
'CKMRSPMX(2)'	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
'NO3PREF(1)'	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
'CLAYPG'	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
'TMPGERM'	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
'DDHARV'	900,00	900,00	900,00	900,00	900,00
'TMPKILL'	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00

As linhas hachuradas indicam parâmetros cujos valores variam entre os diferentes arquivos.

### Arquivos CROP.100 (Soja)

	Wendling (2007)		Presente Trabalho	
	SJ	soja	SJ	ILPC/ILPD
'PRDX(1)'	1,000		0,430	
'PPDF(1)'	27,000		27,000	
'PPDF(2)'	40,000		40,000	
'PPDF(3)'	1,000		1,000	
'PPDF(4)'	2,500		2,500	
'BIOFLG'	0,000		0,000	
'BIOK5'	1.800,000		1.800,000	
'PLTMRF'	0,500		0,500	
'FULCAN'	150,000		150,000	
'FRTCINDX'	2,000		2,000	
'FRTC(1)'	0,500		0,550	
'FRTC(2)'	0,100		0,550	
'FRTC(3)'	3,000		3,000	
'FRTC(4)'	0,200		0,200	
'FRTC(5)'	0,100		0,100	
'CFRTC(1)'	0,400		0,400	
'CFRTC(2)'	0,250		0,250	
'CFRTCW(1)'	0,500		0,500	
'CFRTCW(2)'	0,100		0,100	
'BIOMAX'	800,000		800,000	
'PRAMN(1,1)'	7,550		7,550	
'PRAMN(2,1)'	150,000		150,000	
'PRAMN(3,1)'	190,000		190,000	
'PRAMN(1,2)'	30,000		30,000	
'PRAMN(2,2)'	150,000		150,000	
'PRAMN(3,2)'	150,000		150,000	
'PRAMX(1,1)'	10,000		10,000	
'PRAMX(2,1)'	230,000		230,000	
'PRAMX(3,1)'	230,000		230,000	
'PRAMX(1,2)'	40,000		40,000	

'PRAMX(2,2)'	230,000	230,000
'PRAMX(3,2)'	230,000	230,000
'PRBMN(1,1)'	24,000	24,000
'PRBMN(2,1)'	390,000	390,000
'PRBMN(3,1)'	340,000	340,000
'PRBMN(1,2)'	0,000	0,000
'PRBMN(2,2)'	0,000	0,000
'PRBMN(3,2)'	0,000	0,000
'PRBMX(1,1)'	28,000	28,000
'PRBMX(2,1)'	420,000	420,000
'PRBMX(3,1)'	420,000	420,000
'PRBMX(1,2)'	0,000	0,000
'PRBMX(2,2)'	0,000	0,000
'PRBMX(3,2)'	0,000	0,000
'FLIGNI(1,1)'	0,120	0,120
'FLIGNI(2,1)'	0,000	0,000
'FLIGNI(1,2)'	0,060	0,060
'FLIGNI(2,2)'	0,000	0,000
'HIMAX'	0,310	1,200
'HIWSF'	0,000	0,000
'HIMON(1)'	2,000	2,000
'HIMON(2)'	1,000	1,000
'EFRGRN(1)'	0,670	0,550
'EFRGRN(2)'	0,600	0,600
'EFRGRN(3)'	0,600	0,600
'VLOSSP'	0,040	0,040
'FSDETH(1)'	0,000	0,000
'FSDETH(2)'	0,000	0,000
'FSDETH(3)'	0,000	0,000
'FSDETH(4)'	500,000	500,000
'FALLRT'	0,100	0,050
'RDR'	0,050	0,050
'RTDTMP'	2,000	2,000
'CRPRTF(1)'	0,000	0,000
'CRPRTF(2)'	0,000	0,000
'CRPRTF(3)'	0,000	0,000
'SNFXMX(1)'	0,095	0,095
'DEL13C'	-27,000	-27,000
'CO2IPR(1)'	1,300	1,300
'CO2ITR(1)'	0,770	0,770
'CO2ICE(1,1,1)'	1,000	1,000
'CO2ICE(1,1,2)'	1,000	1,000
'CO2ICE(1,1,3)'	1,000	1,000
'CO2ICE(1,2,1)'	1,300	1,300

'CO2ICE(1,2,2)'	1,000	1,000
'CO2ICE(1,2,3)'	1,000	1,000
'CO2IRS(1)'	1,000	1,000
'KMRSP(1)'	0,000	0,000
'CKMRSPMX(1)'	0,000	0,000
'CKMRSPMX(2)'	0,000	0,000
'NO3PREF(1)'	0,250	0,250
'CLAYPG'	4,000	4,000
'TMPGERM'	10,000	10,000
'DDHARV'	900,000	900,000
'TMPKILL'	7,000	7,000

As linhas hachuradas indicam parâmetros cujos valores variam entre os diferentes arquivos.

### Arquivos CROP.100 (Milho)

	Wendling (2007)	Presente Trabalho
	MRM	MRM ILPC/ILPD
'PRDX(1)'	0,60	0,51
'PPDF(1)'	30,00	30,00
'PPDF(2)'	45,00	45,00
'PPDF(3)'	1,00	1,00
'PPDF(4)'	2,50	2,50
'BIOFLG'	0,00	0,00
'BIOK5'	1800,00	1800,00
'PLTMRF'	0,50	0,50
'FULCAN'	150,00	150,00
'FRTCINDX'	2,000	2,000
'FRTC(1)'	0,600	0,485
'FRTC(2)'	0,100	0,485
'FRTC(3)'	3,00	3,00
'FRTC(4)'	0,20	0,20
'FRTC(5)'	0,10	0,10
'CFRTC(1)'	0,40	0,40
'CFRTC(2)'	0,25	0,25
'CFRTCW(1)'	0,50	0,50
'CFRTCW(2)'	0,10	0,10
'BIOMAX'	700,00	700,00
'PRAMN(1,1)'	10,00	10,00
'PRAMN(2,1)'	150,00	150,00
'PRAMN(3,1)'	190,00	190,00
'PRAMN(1,2)'	62,50	62,50
'PRAMN(2,2)'	150,00	150,00
'PRAMN(3,2)'	150,00	150,00
'PRAMX(1,1)'	20,00	20,00

'PRAMX(2,1)	230,00	230,00
'PRAMX(3,1)	230,00	230,00
'PRAMX(1,2)	125,00	125,00
'PRAMX(2,2)	230,00	230,00
'PRAMX(3,2)	230,00	230,00
'PRBMN(1,1)	45,00	45,00
'PRBMN(2,1)	390,00	390,00
'PRBMN(3,1)	340,00	340,00
'PRBMN(1,2)	0,00	0,00
'PRBMN(2,2)	0,00	0,00
'PRBMN(3,2)	0,00	0,00
'PRBMX(1,1)	60,00	60,00
'PRBMX(2,1)	420,00	420,00
'PRBMX(3,1)	420,00	420,00
'PRBMX(1,2)	0,00	0,00
'PRBMX(2,2)	0,00	0,00
'PRBMX(3,2)	0,00	0,00
'FLIGNI(1,1)	0,12	0,12
'FLIGNI(2,1)	0,00	0,00
'FLIGNI(1,2)	0,06	0,06
'FLIGNI(2,2)	0,00	0,00
'HIMAX'	0,50	1,20
'HIWSF'	0,00	0,00
'HIMON(1)'	2,00	2,00
'HIMON(2)'	1,00	1,00
'EFRGRN(1)'	0,75	0,65
'EFRGRN(2)'	0,60	0,60
'EFRGRN(3)'	0,60	0,60
'VLOSSP'	0,04	0,04
'FSDETH(1)'	0,00	0,00
'FSDETH(2)'	0,00	0,00
'FSDETH(3)'	0,00	0,00
'FSDETH(4)'	500,00	500,00
'FALLRT'	0,10	0,00
'RDR'	0,05	0,05
'RTDTMP'	2,00	2,00
'CRPRTF(1)'	0,00	0,00
'CRPRTF(2)'	0,00	0,00
'CRPRTF(3)'	0,00	0,00
'SNFXMX(1)'	0,015	0,015
'DEL13C'	-15,00	-15,00
'CO2IPR(1)'	1,00	1,00
'CO2ITR(1)'	0,77	0,77
'CO2ICE(1,1,1)'	1,00	1,00

'CO2ICE(1,1,2)'	1,00	1,00
'CO2ICE(1,1,3)'	1,00	1,00
'CO2ICE(1,2,1)'	1,00	1,00
'CO2ICE(1,2,2)'	1,00	1,00
'CO2ICE(1,2,3)'	1,00	1,00
'CO2IRS(1)'	1,00	1,00
'KMRSP(1)'	0,00	0,00
'CKMRSPMX(1)'	0,00	0,00
'CKMRSPMX(2)'	0,00	0,00
'NO3PREF(1)'	0,25	0,25
'CLAYPG'	4,00	4,00
'TMPGERM'	10,00	10,00
'DDHARV'	900,00	900,00
'TMPKILL'	7,00	7,00

As linhas hachuradas indicam parâmetros cujos valores variam entre os diferentes arquivos.

### Arquivos CULT.100

	S1D (Soja ano 1					
	RPC	RPD	S1C (Soja ano 1	ILPD) e TRD	REF (Reforma PCAP)	CEF (Efeito
	(ILPC)	(ILPD)	ILPC)	(Transição c/	e TRC (Transição c/	prolongado do
				plantio direto)	plantio convencional)	arado)
'CULTRA(						
1)'	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
'CULTRA(						
2)'	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0
'CULTRA(						
3)'	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
'CULTRA(						
4)'	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0
'CULTRA(						
5)'	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0
'CULTRA(						
6)'	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0
'CULTRA(						
7)'	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0
'CLTEFF(						
1)'	4,0	0,0	4,0	0,0	4,0	4,0
'CLTEFF(						
2)'	4,0	0,0	4,0	0,0	4,0	4,0
'CLTEFF(						
3)'	4,0	0,0	4,0	0,0	4,0	4,0
'CLTEFF(						
4)'	4,0	0,0	4,0	0,0	4,0	4,0

As células hachuradas indicam valores alterados em relação ao arquivo referência (RPC ILPC) da primeira coluna.

## Arquivos HARV.100

	HS	Soja ILPC/ILPD	HM	Milho ILPC/ILPD
'AGLREM'		0,00		0,00
'BGLREM'		0,00		0,00
'FLGHRV'		1,00		1,00
'RMVSTR'		0,05		0,02
'REMWSD'		0,20		0,25
'HIBG'		0,00		0,00

As linhas hachuradas indicam parâmetros cujos valores variam entre os diferentes arquivos.

## Arquivos GRAZ.100

	PCAP/PCBP/ILPC/ILPD		PCAP/PCBP/ILPC/ILPD	
	BM	Pastejo Chuva	BS	Pastejo Seca
'FLGREM'		0,20		0,05
'FDGREM'		0,01		0,01
'GFCRET'		0,40		0,40
'GRET(1)'		0,45		0,45
'GRET(2)'		0,61		0,61
'GRET(3)'		0,90		0,90
'GRZEFF'		1,00		1,00
'FECF(1)'		0,43		0,43
'FECF(2)'		0,61		0,61
'FECF(3)'		0,40		0,40
'FECLIG'		0,12		0,12

As linhas hachuradas indicam parâmetros cujos valores variam entre os diferentes arquivos.

## Arquivo FERT.100

	A100 (PCAP/ILPC/ILPD)	M91 (Validação)	M94 (Validação)	M97 (Validação)	M99 (Validação)	M02 (Validação)
'FERAMT(1)'	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	4,0
'FERAMT(2)'	0,0	9,0	2,0	2,0	4,4	3,0
'FERAMT(3)'	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
'AUFERT'	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
'NINHIB'	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

## Anexo B:

### Schedule Cerrado

---

1	Starting year
10001	Last year
site.100	Site file name
0	Labeling type
-1	Labeling year
-1.00	Microcosm
-1	CO2 Systems
-1	pH shift
-1	Soil warming
0	N input scalar option
0	OMAD scalar option
2	Initial system
	Initial crop
CN2	Initial tree

---

Year	Month	Option
1		Block # Cerrado equilibrium
10000		Last year
1		Repeats # years
1		Output starting year
7		Output month
1200		Output interval
M		Weather choice
1	1	TREE
CN2		
1	4	TLST
1	8	TFST
-999 -	999	X

---

2		Block # Tree removal
10001		Last year
1		Repeats # years
10001		Output starting year
12		Output month
1		Output interval
M		Weather choice
1	1	TREE
CN2		
1	4	TLST
1	5	TFST
1	7	TREM

CC			
	1	7	TLST
-999 -		999	X

---

### Schedule Pasto Validação

Year	Month	Option
	1	Block # Andropogon
1991		Last year
	1	Repeats # years
1991		Output starting year
	1	Output month
	12	Output interval
M		Weather choice
	1	8 CULT
TRC		
	1	8 FERT
M91		
	1	9 CROP
AND		
	1	9 FRST
	1	12 GRAZ
BM		
-999	-999	X
	2	Block # Andropogon
1993		Last year
	1	Repeats # years
1992		Output starting year
	1	Output month
	12	Output interval
M		Weather choice
	1	1 CROP
AND		
	1	1 GRAZ
BM		
	1	2 GRAZ
BM		
	1	3 GRAZ
BM		
	1	4 GRAZ
BM		
	1	5 GRAZ
BM		
	1	5 LAST

	1	6	SENM
	1	9	CROP
AND			
	1	9	FRST
	1	12	GRAZ
BM			
	-999	-999	X
<hr/>			
	3		Block # Andropogon
	1994		Last year
	1		Repeats # years
	1994		Output starting year
	1		Output month
	12		Output interval
M			Weather choice
	1	1	CROP
AND			
	1	1	GRAZ
BM			
	1	2	GRAZ
BM			
	1	3	GRAZ
BM			
	1	4	GRAZ
BM			
	1	5	GRAZ
BM			
	1	5	LAST
	1	6	SENM
	1	8	FERT
M94			
	1	9	CROP
AND			
	1	9	FRST
	1	12	GRAZ
BM			
	-999	-999	X
<hr/>			
	4		Block # Andropogon
	1996		Last year
	1		Repeats # years
	1995		Output starting year
	1		Output month
	12		Output interval
M			Weather choice
	1	1	CROP

AND			
	1	1	GRAZ
BM			
	1	2	GRAZ
BM			
	1	3	GRAZ
BM			
	1	4	GRAZ
BM			
	1	5	GRAZ
BM			
	1	5	LAST
	1	6	SENM
	1	9	CROP
AND			
	1	9	FRST
	1	12	GRAZ
BM			
	-999	-999	X
<hr/>			
	5		Block # Andropogon
	1997		Last year
	1		Repeats # years
	1997		Output starting year
	1		Output month
	12		Output interval
M			Weather choice
	1	1	CROP
AND			
	1	1	GRAZ
BM			
	1	2	GRAZ
BM			
	1	3	GRAZ
BM			
	1	4	GRAZ
BM			
	1	5	GRAZ
BM			
	1	5	LAST
	1	6	SENM
	1	8	FERT
M97			
	1	9	CROP
AND			

	1	9	FRST
	1	12	GRAZ
BM			
	-999	-999	X
	6		Block # Andropogon
	1998		Last year
	1		Repeats # years
	1998		Output starting year
	1		Output month
	12		Output interval
M			Weather choice
	1	1	CROP
AND			
	1	1	GRAZ
BM			
	1	2	GRAZ
BM			
	1	3	GRAZ
BM			
	1	4	GRAZ
BM			
	1	5	GRAZ
BM			
	1	5	LAST
	1	6	SENM
	1	9	CROP
AND			
	1	9	FRST
	1	12	GRAZ
BM			
	-999	-999	X
	7		Block # Andropogon
	1999		Last year
	1		Repeats # years
	1999		Output starting year
	1		Output month
	12		Output interval
M			Weather choice
	1	1	CROP
AND			
	1	1	GRAZ
BM			
	1	2	GRAZ
BM			

	1	3	GRAZ
BM			
	1	4	GRAZ
BM			
	1	5	GRAZ
BM			
	1	5	LAST
	1	6	SENM
	1	8	FERT
M99			
	1	9	CROP
AND			
	1	9	FRST
	1	12	GRAZ
BM			
	-999	-999	X
<hr/>			
	8		Block # Brachiaria decumbens
	2001		Last year
	1		Repeats # years
	2000		Output starting year
	1		Output month
	12		Output interval
M			Weather choice
	1	1	CROP
BD			
	1	1	GRAZ
BM			
	1	2	GRAZ
BM			
	1	3	GRAZ
BM			
	1	4	GRAZ
BM			
	1	5	GRAZ
BM			
	1	5	LAST
	1	6	SENM
	1	9	CROP
BD			
	1	9	FRST
	1	12	GRAZ
BM			
	-999	-999	X
<hr/>			
	9		Block # Brachiaria decumbens

2002			Last year
1			Repeats # years
2002			Output starting year
1			Output month
12			Output interval
M			Weather choice
1	1		CROP
BD			
1	1		GRAZ
BM			
1	2		GRAZ
BM			
1	3		GRAZ
BM			
1	4		GRAZ
BM			
1	5		GRAZ
BM			
1	5		LAST
1	6		SENM
1	8		FERT
M02			
1	9		CROP
BD			
1	9		FRST
1	12		GRAZ
BM			
-999	-999	X	
<hr/>			
10			Block # Brachiaria decumbens
2004			Last year
1			Repeats # years
2003			Output starting year
1			Output month
12			Output interval
M			Weather choice
1	1		CROP
BD			
1	1		GRAZ
BM			
1	2		GRAZ
BM			
1	3		GRAZ
BM			
1	4		GRAZ

BM			
	1	5	GRAZ
BM			
	1	5	LAST
	1	6	SENM
	1	9	CROP
BD			
	1	9	FRST
	1	12	GRAZ
BM			
	-999	-999	X

---

## Schedule PCBP

---

2005	Starting year
2050	Last year
site.100	Site file name
0	Labeling type
-1	Labeling year
-1.0	Microcosm
-1	CO2 Systems
-1	pH shift
-1	Soil warming
0	N input scalar option
0	OMAD scalar option
1	Initial system
BE5	Initial crop
	Initial tree

---

Year	Month	Option
	1	Block # pasto degradado
2005		Last year
	1	Repeats # years
2005		Output starting year
	1	Output month
	1	Output interval
M		Weather choice
	1	1 CULT
TRC		
	1	1 CROP
BE5		
	1	2 CULT
CEF		

	1	2	GRAZ
BM			
	1	3	CULT
CEF			
	1	3	GRAZ
BM			
	1	4	GRAZ
BM			
	1	5	GRAZ
BS			
	1	5	SENM
	1	6	LAST
	1	6	GRAZ
BS			
	1	7	GRAZ
BS			
	1	8	GRAZ
BS			
	1	9	FRST
	1	9	GRAZ
BS			
	1	10	GRAZ
BM			
	1	11	GRAZ
BM			
	1	12	GRAZ
BM			
	-999	-999	X
<hr/>			
Year	Month	Option	
	2	Block # pasto degradado	
	2050	Last year	
	1	Repeats # years	
	2006	Output starting year	
	1	Output month	
	1	Output interval	
M		Weather choice	
	1	1	CROP
BE5			
	1	1	GRAZ
BM			
	1	2	GRAZ
BM			
	1	3	GRAZ
BM			

	1	4	GRAZ
BM			
	1	5	GRAZ
BS			
	1	5	SENM
	1	6	LAST
	1	6	GRAZ
BS			
	1	7	GRAZ
BS			
	1	8	GRAZ
BS			
	1	9	FRST
	1	9	GRAZ
BS			
	1	10	GRAZ
BM			
	1	11	GRAZ
BM			
	1	12	GRAZ
BM			
	-999	-999	X

---

## Schedule PCAP

---

2005	Starting year
2050	Last year
site.100	Site file name
0	Labeling type
-1	Labeling year
-1.0	Microcosm
-1	CO2 Systems
-1	pH shift
-1	Soil warming
0	N input scalar option
0	OMAD scalar option
1	Initial system
MA1	Initial crop
	Initial tree

---

Year	Month	Option
1		Block # extensive
2050		Last year
4		Repeats # years

2005			Output starting year
	1		Output month
	1		Output interval
M			Weather choice
	1	1	CULT
TRC			
	1	1	FERT
A100			
	1	1	CROP
MA1			
	1	2	CULT
CEF			
	1	2	GRAZ
BM			
	1	3	CULT
CEF			
	1	3	GRAZ
BM			
	1	4	GRAZ
BM			
	1	5	GRAZ
BS			
	1	5	SENM
	1	6	GRAZ
BS			
	1	6	LAST
	1	7	GRAZ
BS			
	1	8	GRAZ
BS			
	1	9	FRST
	1	9	GRAZ
BS			
	1	10	GRAZ
BM			
	1	11	GRAZ
BM			
	1	12	GRAZ
BM			
	2	1	CROP
MA2			
	2	1	GRAZ
BM			
	2	2	GRAZ

BM	2	3	GRAZ
BM	2	4	GRAZ
BM	2	5	GRAZ
BS	2	5	SENM
	2	6	GRAZ
BS	2	6	LAST
	2	7	GRAZ
BS	2	8	GRAZ
BS	2	9	FRST
	2	9	GRAZ
BS	2	10	GRAZ
BM	2	11	GRAZ
BM	2	12	GRAZ
BM	3	1	CROP
MA3	3	1	GRAZ
BM	3	2	GRAZ
BM	3	3	GRAZ
BM	3	3	GRAZ
BM	3	4	GRAZ
BM	3	5	GRAZ
BS	3	5	SENM
	3	6	GRAZ
BS	3	6	LAST
	3	7	GRAZ
BS			

	3	8	GRAZ
BS			
	3	9	FRST
	3	9	GRAZ
BS			
	3	10	GRAZ
BM			
	3	11	GRAZ
BM			
	3	12	GRAZ
BM			
	4	1	CROP
MA4			
	4	1	GRAZ
BM			
	4	2	GRAZ
BM			
	4	3	GRAZ
BM			
	4	3	GRAZ
BM			
	4	4	GRAZ
BM			
	4	5	GRAZ
BS			
	4	5	SENM
	4	6	GRAZ
BS			
	4	6	LAST
	4	7	GRAZ
BS			
	4	8	GRAZ
BS			
	4	9	FRST
	4	9	GRAZ
BS			
	4	10	GRAZ
BM			
	4	11	GRAZ
BM			
	4	12	GRAZ
BM			
	-999	-999	X

---

## Schedule ILPC

---

2005	Starting year
2050	Last year
site.100	Site file name
0	Labeling type
-1	Labeling year
-1.0	Microcosm
-1	CO2 Systems
-1	pH effect
-1	Soil warming
0	N input scalar option
0	OMAD scalar option
1	Initial system
BE1	Initial crop
	Initial tree

---

Year	Month	Option
	1	Block # PASTAGEM_3_ANOS
2006		Last year
	1	Repeats # years
2005		Output starting year
	1	Output month
	1	Output interval
M		Weather choice
	1	1 CULT
TRC		
	1	1 CROP
BE1		
	1	2 CULT
CEF		
	1	2 GRAZ
BM		
	1	3 CULT
CEF		
	1	3 GRAZ
BM		
	1	4 GRAZ
BM		
	1	5 GRAZ
BS		
	1	5 LAST
	1	6 GRAZ
BS		

	1	6	SENM
	1	7	GRAZ
BS			
	1	8	GRAZ
BS			
	1	9	GRAZ
BS			
	1	9	FRST
	1	10	GRAZ
BM			
	1	11	GRAZ
BM			
	1	12	GRAZ
BM			
	-999	-999	X
<hr/>			
	2		Block # Experimento_soja
	2008		Last year
	2		Repeats # years
	2007		Output starting year
	1		Output month
	1		Output interval
M			Weather choice
	1	1	GRAZ
BM			
	1	2	GRAZ
BM			
	1	3	GRAZ
BM			
	1	4	GRAZ
BM			
	1	4	LAST
	1	4	SENM
	1	10	CULT
S1C			
	1	10	FERT
A100			
	1	11	CROP
SJ			
	1	11	CULT
CEF			
	1	11	PLTM
	1	11	FRST
	1	12	CULT
CEF			

	2	2	LAST
	2	4	SENM
	2	4	HARV
HS			
	2	10	CULT
RPC			
	2	11	CULT
CEF			
	2	11	FERT
A100			
	2	11	CROP
SJ			
	2	11	PLTM
	2	11	FRST
	2	12	CULT
CEF			
	-999	-999	X
<hr/>			
	3		Block # milho_pastagem
	2010		Last year
	2		Repeats # years
	2009		Output starting year
	1		Output month
	1		Output interval
M			Weather choice
	1	2	LAST
	1	4	SENM
	1	4	HARV
HS			
	1	9	CULT
RPC			
	1	10	CULT
CEF			
	1	10	FERT
A100			
	1	10	CROP
MRM			
	1	10	PLTM
	1	10	FRST
	1	11	CULT
CEF			
	2	2	LAST
	2	2	SENM
	2	2	HARV
HM			

	2	3	FRST
	2	3	CROP
BE1			
	2	6	LAST
	2	9	FRST
	2	11	GRAZ
BM			
	2	12	GRAZ
BM			
	-999	-999	X

---

## Schedule ILPD

---

2005	Starting year
2050	Last year
site.100	Site file name
0	Labeling type
-1	Labeling year
-1.0	Microcosm
-1	CO2 Systems
-1	pH effect
-1	Soil warming
0	N input scalar option
0	OMAD scalar option
1	Initial system
BE1	Initial crop
	Initial tree

---

Year	Month	Option
	1	Block # PASTAGEM_3_ANOS
2006		Last year
	1	Repeats # years
2005		Output starting year
	1	Output month
	1	Output interval
M		Weather choice
	1	1 CULT
TRD		
	1	1 CROP
BE1		
	1	2 GRAZ
BM		
	1	3 GRAZ

BM			
	1	4	GRAZ
BM			
	1	5	GRAZ
BS			
	1	5	LAST
	1	6	GRAZ
BS			
	1	6	SENM
	1	7	GRAZ
BS			
	1	8	GRAZ
BS			
	1	9	FRST
	1	9	GRAZ
BS			
	1	10	GRAZ
BM			
	1	11	GRAZ
BM			
	1	12	GRAZ
BM			
	-999	-999	X
	2		Block # Experimento_soja
2008			Last year
	2		Repeats # years
2007			Output starting year
	1		Output month
	1		Output interval
M			Weather choice
	1	1	GRAZ
BM			
	1	2	GRAZ
BM			
	1	3	GRAZ
BM			
	1	4	GRAZ
BM			
	1	4	LAST
	1	4	SENM
	1	10	CULT
S1D			
	1	10	FERT
A100			

	1	11	CROP
SJ			
	1	11	PLTM
	1	11	FRST
	2	2	LAST
	2	4	SENM
	2	4	HARV
HS			
	2	10	CULT
RPD			
	2	11	FERT
A100			
	2	11	CROP
SJ			
	2	11	PLTM
	2	11	FRST
	-999	-999	X
<hr/>			
	3		Block # milho_pastagem
	2010		Last year
	2		Repeats # years
	2009		Output starting year
	1		Output month
	1		Output interval
M			Weather choice
	1	2	LAST
	1	4	SENM
	1	4	HARV
HS			
	1	9	CULT
RPD			
	1	10	FERT
A100			
	1	10	CROP
MRM			
	1	10	PLTM
	1	10	FRST
	2	2	LAST
	2	2	SENM
	2	2	HARV
HM			
	2	3	FRST
	2	3	CROP
BE1			
	2	6	LAST

	2	9	FRST
	2	11	GRAZ
BM			
	2	12	GRAZ
BM			
	-999	-999	X

## **Anexo C**

**Informações do levantamento bibliográfico sobre estoques de C sob vegetação de cerrado nativo**

**Informações do levantamento bibliográfico sobre estoques de C sob pastagens  
cultivadas na região do Cerrado**



# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)